

PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN LAS IGLESIAS PRERROMÁNICAS



Máster en Ingeniería Acústica de la Edificación y Medio Ambiente

Trabajo Fin de Máster		
Título	Propagación del Sonido en las Iglesias Prerrománicas	
Autor	Raquel Gómez Alonso	VºBº
Tutor	Antonio Pedrero González	
Ponente	Raquel Gómez Alonso	
Tribunal		
Presidente	Juan José Gómez Alfageme	
Secretario	Vladimir Ulín Nabátov	
Vocal	Constantino Gil González	
Fecha de lectura		
Calificación		

El Secretario:

*Dedicado a mi familia, en especial a mis padres
y a Ja, sin los cuales, no lo hubiera conseguido.
Gracias por vuestra paciencia y apoyo constantes.
Y a ti Miguel, allá donde quiera que estés.*

PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN LAS IGLESIAS PRERROMÁNICAS

Índice

Índice.....	i
Índice de figuras.....	iv
Índice de tablas.....	xii
Índice de ecuaciones	xviii
Resumen.....	xix
Summary.....	xx
1 Las Iglesias Prerrománicas	1
1.1. Introducción a las Iglesias Prerrománicas	3
1.2. Iglesia de San Cebrián.....	6
1.3. Iglesia de San Juan de Baños	10
1.4. Iglesia de San Pedro de la Nave.....	12
1.5. Iglesia de Santa María de Melque	15
1.6. Iglesia de Santa Lucía del Trampal.....	18
2 Parámetros de Medida	21
2.1. Parámetros acústicos.....	23
2.1.1. Claridad musical, C80	23
2.1.2. Sonoridad, G	24
2.1.3. Tiempo de reverberación, T30	25
3 Medidas in Situ	26
3.1. Procedimiento de Medidas in Situ.....	28

3.2. Medidas obtenidas para la Iglesias de San Cebrián.....	29
3.3. Medidas obtenidas para la Iglesias de San Juan de Baños	39
3.4. Medidas obtenidas para la Iglesia de San Pedro de la Nave	51
3.5. Medidas obtenidas para la Iglesia de Santa María de Melque	59
3.6. Medidas obtenidas para la Iglesia de Santa Lucía del Trampal	65
3.7. Observaciones	73
4 Teorías de Propagación del Sonido	75
4.1. Descripción de las Teorías de Propagación del Sonido	77
4.2. Modelo Clásico.....	77
4.3. Modelo de Barron y Lee.....	79
4.4. Modelo de Barron y Lee Modificado (Método μ)	81
5 Cálculos y Resultados	83
5.1. Cálculos realizados para cada una de las Iglesias	85
5.1.1. Iglesia de San Cebrián de Mazote	85
5.1.1.1. Valores calculados para C_{80}	86
5.1.1.1.1. Conclusiones para C_{80}	109
5.1.1.2. Valores calculados para G	110
5.1.1.2.1. Conclusiones para G	133
5.1.2. Iglesia de San Juan de Baños.....	133
5.1.2.1. Valores calculados para C_{80}	134
5.1.2.1.1. Conclusiones para C_{80}	147

5.1.2.2. Valores calculados para G	148
5.1.2.2.1. Conclusiones para G	160
5.1.3. Iglesia de San Pedro de la Nave	160
5.1.3.1. Valores calculados para C_{80}	161
5.1.3.1.1. Conclusiones para C_{80}	172
5.1.3.2. Valores calculados para G	173
5.1.3.2.1. Conclusiones para G	184
5.1.4. Iglesia de Santa María de Melque	184
5.1.4.1. Valores calculados para C_{80}	185
5.1.4.1.1. Conclusiones para C_{80}	193
5.1.4.2. Valores calculados para G	193
5.1.4.2.1. Conclusiones para G	202
5.1.5. Iglesia de Santa Lucía del Trampal	202
5.1.5.1. Valores calculados para C_{80}	203
5.1.5.1.1. Conclusiones para C_{80}	215
5.1.5.2. Valores calculados para G	215
5.1.5.2.1. Conclusiones para G	227
6 Conclusiones	228
Bibliografía	231

Índice de figuras

Figura 1. Ejemplo de Planta Basilical.....	4
Figura 2. Ejemplo de Planta Central	5
Figura 3. Imagen de San Cebrián	7
Figura 4. Interior de la Iglesia de San Cebrián.....	7
Figura 5. Nave lateral de San Cebrián.....	8
Figura 6. Planta de San Cebrián.....	9
Figura 7. Vista superior de San Cebrián	9
Figura 8. Vista de San Juan de Baños.....	10
Figura 9. Planta de San Juan de Baños	11
Figura 10. Interior de San Juan de Baños	12
Figura 11. Vista de San Pedro de la Nave.....	13
Figura 12. Interior de San Pedro de la Nave.....	14
Figura 13. Planta de San Pedro de la Nave.....	15
Figura 14. Vista de Santa María de Melque.....	16
Figura 15. Interior de Santa María de Melque	16
Figura 16. Planta de Santa María de Melque	17
Figura 17. Vista de Santa Lucía del Trampal.....	19
Figura 18. Planta de Santa Lucía del Trampal.....	20
Figura 19. Posiciones de medida en San Cebrián.....	30
Figura 20. Comparativa de C_{80} para F1	32

Figura 21. Comparativa de C_{80} para F2	34
Figura 22. Comparativa de C_{80} para F3	35
Figura 23. Comparativa de G para F1	37
Figura 24. Comparativa de G para F2	38
Figura 25. Comparativa de G para F3	39
Figura 26. Posiciones de medida en San Juan de Baños	41
Figura 27. Comparativa de C_{80} para F1	43
Figura 28. Comparativa de C_{80} para F2	44
Figura 29. Comparativa de C_{80} para F3	46
Figura 30. Comparativa de G para F1	47
Figura 31. Comparativa de G para F2	49
Figura 32. Comparativa de G para F3	50
Figura 33. Posiciones de medida en San Pedro de la Nave.....	52
Figura 34. Comparativa de C_{80} para F1	54
Figura 35. Comparativa de C_{80} para F2	55
Figura 36. Comparativa de C_{80} para F3	56
Figura 37. Comparativa de G para F1	57
Figura 38. Comparativa de G para F2	58
Figura 39. Comparativa de G para F3	59
Figura 40. Posiciones de medida en Santa María de Melque	60
Figura 41. Comparativa de C_{80} para F1	62
Figura 42. Comparativa de C_{80} para F2	63

Figura 43. Comparativa de G para F1	64
Figura 44. Comparativa de G para F2	65
Figura 45. Posiciones de medida en Santa Lucía del Trampal.....	66
Figura 46. Comparativa de C_{80} para F1	68
Figura 47. Comparativa de C_{80} para F2	69
Figura 48. Comparativa de C_{80} para F3	70
Figura 49. Comparativa de G para F1	71
Figura 50. Comparativa de G para F2	72
Figura 51. Comparativa de G para F3	73
Figura 52. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F1	87
Figura 53. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F1	88
Figura 54. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F1	90
Figura 55. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F2	91
Figura 56. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F2.....	93
Figura 57. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F2	94
Figura 58. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F3	96
Figura 59. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F3.....	97
Figura 60. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F3	99
Figura 61. Diferencia para C_{80} a Bajas Frecuencias para el Modelo Clásico .	100
Figura 62. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias para el Modelo Clásico	101
Figura 63. Diferencia para C_{80} a Altas Frecuencias para el Modelo Clásico ..	102

Figura 64. Diferencia para C_{80} a Bajas Frecuencias para Modelo de Barron y Lee	103
Figura 65. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias para Modelo de Barron y Lee	104
Figura 66. Diferencia para C_{80} a Altas Frecuencias para Modelo de Barron y Lee	105
Figura 67. Diferencia para C_{80} a Bajas Frecuencias para el Modelo μ	106
Figura 68. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias para el Modelo μ	107
Figura 69. Diferencia para C_{80} a Altas Frecuencias para el Modelo μ	108
Figura 70. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F1	111
Figura 71. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F1	112
Figura 72. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F1	114
Figura 73. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F2.....	115
Figura 74. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F2	117
Figura 75. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F2.....	118
Figura 76. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F3.....	120
Figura 77. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F3	121
Figura 78. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F3.....	123
Figura 79. Diferencia para G a Bajas Frecuencias para el Modelo Clásico....	124
Figura 80. Diferencia para G a Medias Frecuencias para el Modelo Clásico .	125
Figura 81. Diferencia para G a Altas Frecuencias para el Modelo Clásico.....	126
Figura 82. Diferencia para G a Bajas Frecuencias para el Modelo de Barron y Lee	127

Figura 83. Diferencia para G a Medias Frecuencias para el Modelo de Barron y Lee	128
Figura 84. Diferencia para G a Altas Frecuencias para el Modelo de Barron y Lee	129
Figura 85. Diferencia para G a Bajas Frecuencias para Modelo μ	130
Figura 86. Diferencia para G a Medias Frecuencias para Modelo μ	131
Figura 87. Diferencia para G a Altas Frecuencias para Modelo μ	132
Figura 88. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F1	135
Figura 89. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F1	136
Figura 90. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F1	137
Figura 91. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F2	139
Figura 92. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F2	140
Figura 93. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F2	141
Figura 94. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F3	142
Figura 95. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F3	143
Figura 96. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F3	144
Figura 97. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias y para F1	146
Figura 98. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F1	149
Figura 99. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F1	150
Figura 100. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F1	151
Figura 101. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F2	152
Figura 102. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F2	153

Figura 103. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F2.....	154
Figura 104. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F3.....	156
Figura 105. . Comparativa de G a Medias Frecuencias para F3	157
Figura 106. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F3.....	158
Figura 107. Diferencia para G a Medias Frecuencias y para F1	159
Figura 108. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F1	161
Figura 109. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F1	162
Figura 110. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F1	163
Figura 111. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F2	164
Figura 112. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F2.....	165
Figura 113. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F2	166
Figura 114. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F3	167
Figura 115. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F3.....	168
Figura 116. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F3	169
Figura 117. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias y para F1	171
Figura 118. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F1	173
Figura 119. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F1	174
Figura 120. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F1	175
Figura 121. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F2.....	176
Figura 122. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F2	177
Figura 123. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F2.....	178
Figura 124. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F3.....	179

Figura 125. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F3	180
Figura 126. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F3	181
Figura 127. Diferencia para G a Medias Frecuencias y para F1	183
Figura 128. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F1	185
Figura 129. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F1	186
Figura 130. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F1	187
Figura 131. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F2	188
Figura 132. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F2	189
Figura 133. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F2	190
Figura 134. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias y para F1	192
Figura 135. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F1	194
Figura 136. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F1	195
Figura 137. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F1	196
Figura 138. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F2	197
Figura 139. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F2	198
Figura 140. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F2	199
Figura 141. Diferencia para G a Medias Frecuencias y para F1	201
Figura 142. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F1	204
Figura 143. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F1	205
Figura 144. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F1	206
Figura 145. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F2	207
Figura 146. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F2	208

Figura 147. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F2	209
Figura 148. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F3	210
Figura 149. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F3	211
Figura 150. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F3	212
Figura 151. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias y para F1	214
Figura 152. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F1	216
Figura 153. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F1	217
Figura 154. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F1	218
Figura 155. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F2	219
Figura 156. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F2	220
Figura 157. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F2	221
Figura 158. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F3	222
Figura 159. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F3	223
Figura 160. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F3	224
Figura 161. Diferencia para G a Medias Frecuencias y para F1	226

Índice de tablas

Tabla 1. Distancias a las Fuentes Sonoras.....	31
Tabla 2. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 1	32
Tabla 3. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 2	33
Tabla 4. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 3	35
Tabla 5. Valores de G obtenidos para la Fuente 1	36
Tabla 6. Valores de G obtenidos para la Fuente 2	37
Tabla 7. Valores de G obtenidos para la Fuente 3	38
Tabla 8. Distancias a las Fuentes Sonoras.....	42
Tabla 9. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 1	43
Tabla 10. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 2	44
Tabla 11. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 3	45
Tabla 12. Valores de G obtenidos para la Fuente 1	47
Tabla 13. Valores de G obtenidos para la Fuente 2	48
Tabla 14. Valores de G obtenidos para la Fuente 3	50
Tabla 15. Distancias a las Fuentes Sonoras.....	53
Tabla 16. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 1	53
Tabla 17. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 2	54
Tabla 18. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 3	55
Tabla 19. Valores de G obtenidos para la Fuente 1	56
Tabla 20. Valores de G obtenidos para la Fuente 2	57

Tabla 21. Valores de G obtenidos para la Fuente 3	58
Tabla 22. Distancias a las Fuentes Sonoras.....	61
Tabla 23. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 1	61
Tabla 24. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 2	62
Tabla 25. Valores de G obtenidos para la Fuente 1	63
Tabla 26. Valores de G obtenidos para la Fuente 2	64
Tabla 27. Distancias a las Fuentes Sonoras.....	67
Tabla 28. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 1	67
Tabla 29. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 2	68
Tabla 30. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 3	69
Tabla 31. Valores de G obtenidos para la Fuente 1	70
Tabla 32. Valores de G obtenidos para la Fuente 2	71
Tabla 33. Valores de G obtenidos para la Fuente 3	72
Tabla 34. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1	86
Tabla 35. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1	88
Tabla 36. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1	89
Tabla 37. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2	91
Tabla 38. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2	92
Tabla 39. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2	94
Tabla 40. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3	95
Tabla 41. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3	97
Tabla 42. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3	98

Tabla 43. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1	110
Tabla 44. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1	112
Tabla 45. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1	113
Tabla 46. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2	115
Tabla 47. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2	116
Tabla 48. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2	118
Tabla 49. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3	119
Tabla 50. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3	121
Tabla 51. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3	122
Tabla 52. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1	134
Tabla 53. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1	135
Tabla 54. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1	136
Tabla 55. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2	138
Tabla 56. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2	139
Tabla 57. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2	140
Tabla 58. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3	142
Tabla 59. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3	143
Tabla 60. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3	144
Tabla 61. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1	148
Tabla 62. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1	149
Tabla 63. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1	150
Tabla 64. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2	152

Tabla 65. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2	153
Tabla 66. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2	154
Tabla 67. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3	155
Tabla 68. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3	156
Tabla 69. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3	157
Tabla 70. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1	161
Tabla 71. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1	162
Tabla 72. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1	163
Tabla 73. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2	164
Tabla 74. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2	165
Tabla 75. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2	166
Tabla 76. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3	167
Tabla 77. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3	168
Tabla 78. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3	169
Tabla 79. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1	173
Tabla 80. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1	174
Tabla 81. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1	175
Tabla 82. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2	176
Tabla 83. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2	177
Tabla 84. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2	178
Tabla 85. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3	179
Tabla 86. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3	180

Tabla 87. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3	181
Tabla 88. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1	185
Tabla 89. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1	186
Tabla 90. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1	187
Tabla 91. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2	188
Tabla 92. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2	189
Tabla 93. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2	190
Tabla 94. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1	193
Tabla 95. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1	194
Tabla 96. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1	195
Tabla 97. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2	197
Tabla 98. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2	198
Tabla 99. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2	199
Tabla 100. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1	203
Tabla 101. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1	204
Tabla 102. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1	205
Tabla 103. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2	207
Tabla 104. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2	208
Tabla 105. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2	209
Tabla 106. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3	210
Tabla 107. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3	211
Tabla 108. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3	212

Tabla 109. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1	215
Tabla 110. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1	216
Tabla 111. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1	217
Tabla 112. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2	219
Tabla 113. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2	220
Tabla 114. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2	221
Tabla 115. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3	222
Tabla 116. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3	223
Tabla 117. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3	224

Índice de ecuaciones

(1)	23
(2).....	24
(3).....	29
(4).....	78
(5).....	78
(6).....	78
(7).....	78
(8)	78
(9).....	80
(10).....	80
(11).....	80
(12)	80
(13).....	80
(14).....	80
(15).....	81
(16).....	81

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo el estudio de la propagación del sonido en las iglesias prerrománicas. Para ello, se analizarán y aplicarán algunas de las teorías más relevantes de propagación del sonido, con el fin de concluir si, alguna de ellas, se puede establecer como modelo de propagación en estos espacios.

Se partirá de valores medidos in situ en diversas iglesias prerrománicas de la geografía española, siendo este un número considerado suficiente para poder valorar los resultados como significativos. Estas iglesias son:

- San Cebrián
- San Juan de Baños
- San Pedro de la Nave
- Santa María de Melque
- Santa Lucía del Trampal

El proyecto se valdrá de los siguientes parámetros acústicos para llevar a cabo el estudio: la Claridad Musical, C_{80} , y la Sonoridad, G .

El trabajo se centrará en tres teorías de propagación del sonido en el interior de recintos:

- “La Teoría Clásica”
- “Modelo de Barron y Lee”
- “Método μ ”

A partir de estas teorías, se obtendrán los valores, de forma teórica, para de C_{80} y G y se llevará a cabo una comparativa con los valores empíricos.

Summary

The aim of this project is to study the sound propagation in Pre-Romanesque churches. Hence, some of the most relevant sound propagation theories will be analyzed and applied, in order to conclude whether, any of them, can be set as a propagation model in this typology of spaces.

On site measured values will be taken in different Pre-Romanesque churches in the Spanish geography, being the number of churches enough to evaluate if the results are significant. These churches are:

- San Cebrián
- San Juan de Baños
- San Pedro de la Nave
- Santa María de Melque
- Santa Lucía del Trampal

The following acoustic parameters will be used to perform the study: the musical clarity, C_{80} , and the sound strength. G .

The research will focus on three sound propagation theories in closed spaces:

- “Classic Theory”
- “Barron & Lee model”
- μ Method

Trough these theories, theoretical values will be derived, for C_{80} and G , being compared to the empirical values obtained on site.

1

Las Iglesias Prerrománicas

1.1. Introducción a las Iglesias Prerrománicas

Este apartado del proyecto, tiene como objetivo dar una idea general de las características, a nivel arquitectónico, de las iglesias pertenecientes a este movimiento artístico y que serán objeto de estudio. Esto, facilitará relacionarlas de forma cualitativa con sus cualidades acústicas.

El arte prerrománico se sitúa en el período conocido como Alta Edad Media, que comprende los siglos VI al X (ó desde finales del s.V a comienzos del s.XI).

Este movimiento artístico no se caracteriza por unas formas artísticas bien definidas, si no que, hace alusión a la producción artística entre el arte paleocristiano (s.I – s.VI) y el arte románico (s.XI – s.XIII). Todo ello precedido por la caída del Imperio Romano en occidente. Por tanto, en este período se incluyen todas las manifestaciones arquitectónicas que se desarrollaron durante el período comprendido entre la caída del Imperio Romano de occidente y la aparición del Románico como estilo predominante en la península.

Podemos hablar de una primera fase de asentamiento, en la que conviven diversas expresiones arquitectónicas: paleocristianas, bizantinas, norteafricanas y el llamado visigodo de transición o arriano. Por lo general, en todas ellas, las expresiones arquitectónicas se limitaron a adaptar las construcciones romanas a las nuevas costumbres sociales y religiosas. De esta época quedan pocas referencias, ya que las ciudades visigodas siguieron siendo las mismas que las romanas y en todas ellas, tras la conquista musulmana y las posteriores reconquistas, se destruyeron casi totalmente las manifestaciones arquitectónicas.

Le sigue una segunda fase, el arte visigodo pleno, con el estado ya cristianizado, que duró hasta la conquista de los musulmanes.

Posteriormente, tras la invasión, la influencia de los hispanogodos se concentró en el norte de la Península. Se desarrollaron diversas formas artísticas, cada una con sus propias líneas. Esta característica de diversidad es común a toda la antigua

Europa hasta la llegada del románico, que unificará los distintos estilos y formas de construcción.

Por tanto, se puede resumir que, en este período, destaca la relativa ausencia de grandes proyectos arquitectónicos, reutilizando edificios anteriores y sus elementos arquitectónicos, así como una evolución formal hacia la simplicidad y la esquematización.

En lo que a arquitectura eclesiástica se refiere, se utilizó tanto la planta basilical como la centralizada, siendo en ambos casos, de dimensiones pequeñas:

- La planta basilical, se basa en la basílica romana (sala rectangular) y característica del Paleocristiano. Se compone de una nave central, en la que se reserva un espacio en la cabecera de la iglesia para ubicar el presbiterio, con el altar mayor, habitualmente en un ábside, dejando el acceso en el lado opuesto, es decir, a los pies de la iglesia. Esta nave central puede contar con naves laterales separadas de la primera por una arquería, sustentada sobre columnas o pilares de base poligonal. El acceso, normalmente, cuenta con atrio y pórtico:

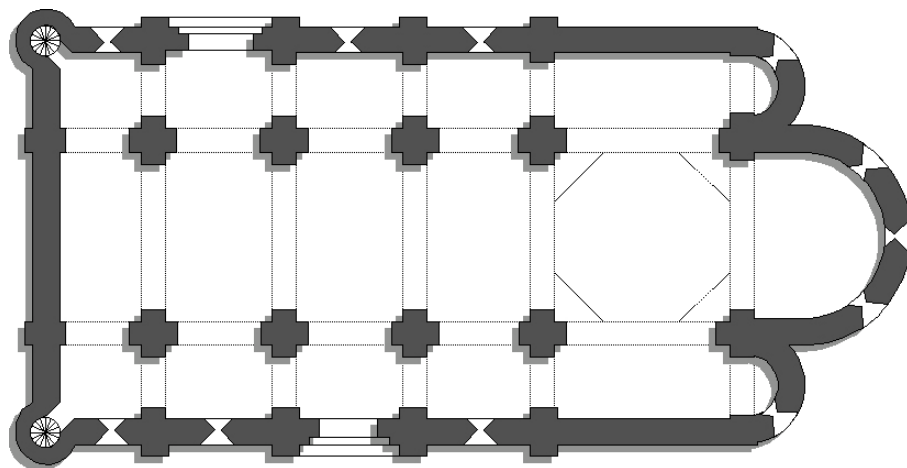


Figura 1. Ejemplo de Planta Basilical

- La planta centralizada, planta central o "en rotonda", se caracteriza por la existencia de varios ejes de simetría, al basarse en la forma de un polígono regular o un círculo, orientando la atención de los asistentes al

centro de la iglesia. El espacio central puede quedar rodeado, bien por un muro de gran grosor, en el que aparecen profundos huecos por su cara interior, o bien por un deambulatorio con bóveda de cañón. Las profundas aperturas existentes en el espacio central conformarían de ese modo los brazos de una cruz, contribuyendo así al sustentamiento de la bóveda central del edificio. También puede contar con la adición de ábsides y naves laterales:

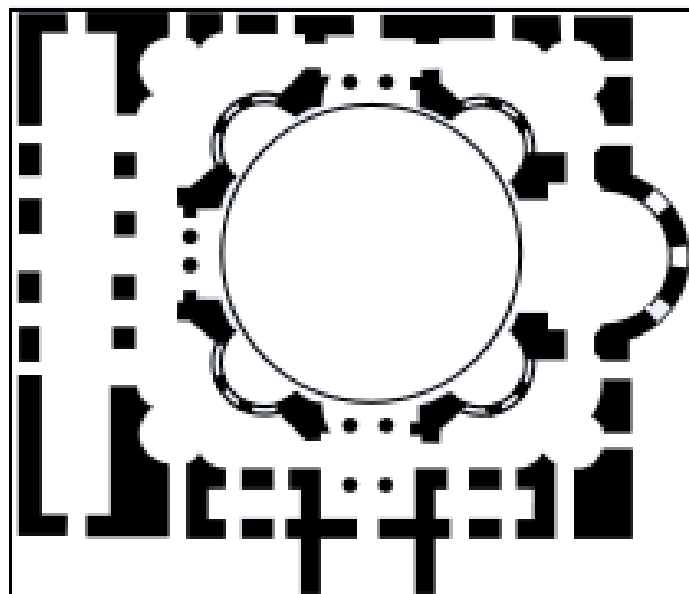


Figura 2. Ejemplo de Planta Central

En cuanto a las cubiertas, se empleaban dos tipo:

- Planas de madera, consistentes en artesonados sobre las vigas de la estructura del tejado a dos aguas

- Abovedadas de piedra, formadas por bóvedas de cañón en los espacios longitudinales, naves, y bóvedas de arista o cúpulas en los espacios cuadrangulares, poligonales o circulares.

Cabe destacar, el uso de la piedra, como elemento común y predominante, en la construcción de las iglesias prerrománicas, lo que influirá de forma determinante en el comportamiento acústico de estos espacios.

A continuación, se realiza una breve descripción de las iglesias objeto de este estudio, que se han analizado acústicamente y que pertenecen a este período artístico:

1.2. Iglesia de San Cebrián

La iglesia de San Cipriano o de San Cebrián, el municipio homónimo de San Cebrián de Mazote, en la provincia de Valladolid, está situada en el centro de la localidad. Es la parroquia de la población, templo católico que pertenece a la archidiócesis de Valladolid.

Esta iglesia prerrománica de reconquista o mozárabe, según los autores, es el mayor templo hispano de este periodo.



Figura 3. Imagen de San Cebrián

Se trata de una iglesia mozárabe de gran tamaño. Está formada por una zona basilical de tres naves separadas por arquerías de herradura, sobre columnas y capiteles, una nave de crucero dividida en tres zonas, que sobresale ligeramente de las laterales y una cabecera tripartita, con ábsides planos al exterior, siendo el central de planta interior en forma de herradura. A todo lo anterior se añade la particularidad de que dispone de un ábside contrapuesto, también interiormente en forma de herradura, en el costado occidental de la nave central.



Figura 4. Interior de la Iglesia de San Cebrián

Se carece de datos ciertos sobre su origen. Por el perímetro de la planta, parece ser que sobre una iglesia central visigoda del siglo VII, se reconstruye una estructura basilical prerrománica a comienzos del siglo X, con aportaciones mozárabes.

Presenta mayor altura la nave central que es iluminada por ventanas en los muros por encima de las naves laterales. La cabecera está formada por tres ábsides, de planta cuadrada los laterales, y el central, en forma de herradura inscrita en un cuadrado. A los pies de la nave, se encuentra otro ábside en forma de herradura inscrito también en un cuadrado. Los brazos del transepto acaban en sendas exedras.



Figura 5. Nave lateral de San Cebrián

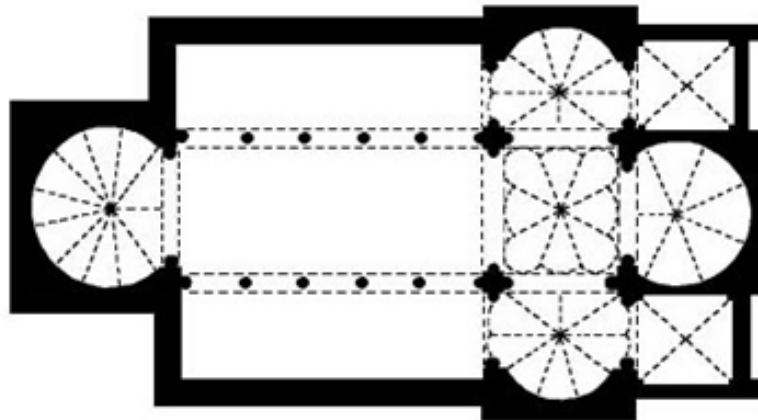


Figura 6. Planta de San Cebrián

El sistema de cubiertas presenta bóveda gallonada en los espacios que tienen planta de herradura y en el crucero: el ábside central de la cabecera, con 5 husos más el de la entrada; el ábside de los pies de la nave con 9 husos más el de la entrada; las exedras del transepto, con 7 husos más el de la entrada; y el crucero con 8 husos de ladrillo, cargada sobre arcos formeros. Los ábsides laterales de la cabecera se cubren con bóveda de crucería. Las naves tienen techumbre de madera, con cubierta a dos vertientes la central y a una vertiente las laterales, mientras que las paredes y el suelo son de piedra.



Figura 7. Vista superior de San Cebrián

1.3. Iglesia de San Juan de Baños

La Iglesia de San Juan Bautista es el primer monumento visigodo situado en la localidad de Baños de Cerrato a tan sólo 7 km de Palencia. Esta localidad pertenece al municipio de Venta de Baños, en la provincia de Palencia, lugar que fue de villas y esparcimiento romanos. Está considerada la iglesia en pie más antigua de España, si bien se trata de una afirmación subjetiva pendiente del mayor o menor estado de «ruinas» de otras iglesias anteriores.

Es una iglesia visigoda mandada construir por el rey Recesvinto en el año 661. Se halla situada en un paraje llano de la vega del río Pisuerga cerca de su confluencia con el río Carrión, en la actual provincia de Palencia. Tradicionalmente ésta fue una zona de cereales bien conocida por los romanos que construyeron villas importantes (se han encontrado restos en el lugar llamado Dos Nogales), y más tarde los visigodos también supieron aprovechar las tierras.

El templo fue erigido como fundación real bajo la tutela de la sede episcopal de Palencia. Según los eruditos, se trata de la iglesia más original y española de todo el arte visigodo que persiste.



Figura 8. Vista de San Juan de Baños

Presenta planta basilical con 3 naves y 3 ábsides. A lo largo de los años ha sufrido algunas reconstrucciones parciales incluso en la planta original, que se

ensanchó a la altura del cuarto y último arco en una especie de crucero o transepto que se abría sobre una triple cabecera formada por 3 capillas rectangulares y no continuas. Después de la reconstrucción desaparecieron los ábsides laterales y la planta quedó convertida en un simple rectángulo con la cabecera desfigurada.

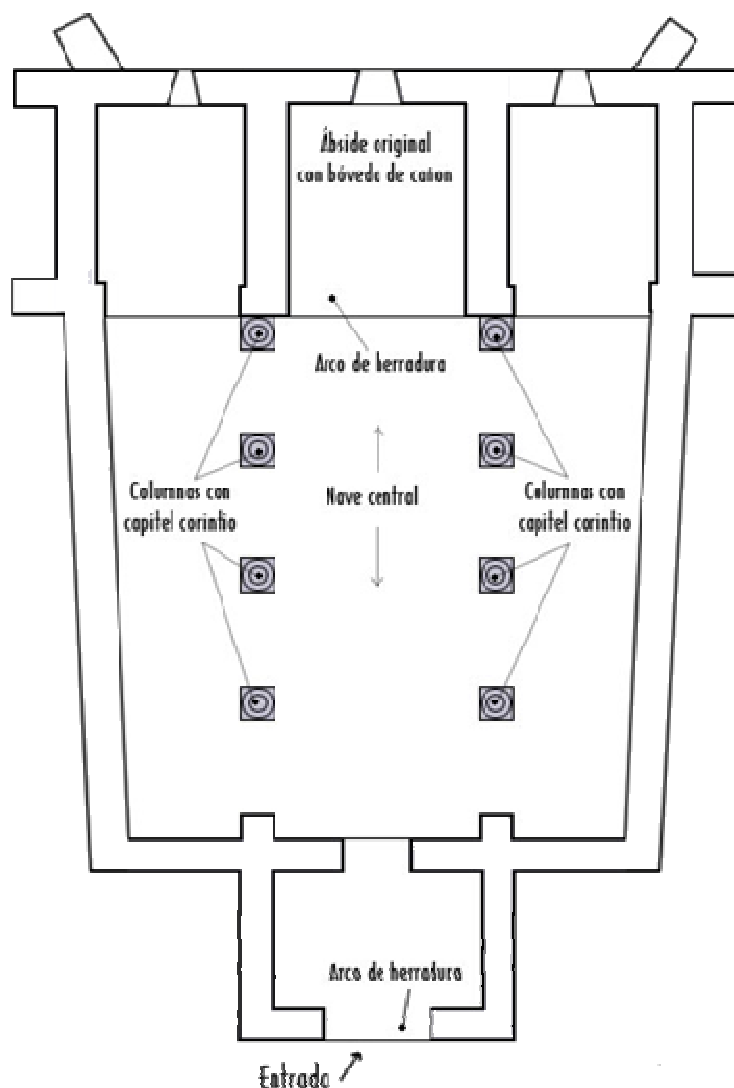


Figura 9. Planta de San Juan de Baños

En el interior se pueden ver los arcos visigodos sobre columnas de mármol reutilizadas, de color gris, beige y rosa, con los capiteles ocre amarillo pastel que contrastan junto a los sillares de los muros que son de piedra caliza dura de color beige pálido.



Figura 10. Interior de San Juan de Baños

1.4. Iglesia de San Pedro de la Nave

La iglesia visigoda de San Pedro de la Nave se encuentra situada en la localidad de El Campillo, término municipal de San Pedro de la Nave-Almendra, en la provincia de Zamora.

El templo se remonta a finales del siglo VII, pues debió construirse entre los años 680 y 711, es decir, en los años previos a la conquista musulmana, por lo que puede tratarse de una de las últimas obras del arte visigodo.



Figura 11. Vista de San Pedro de la Nave

De estilo visigótico, su primera traza respondió a una planta de cruz griega, si bien luego se trazaron las dos naves laterales que le confieren el aspecto final híbrido entre la planta basilical y la cruciforme. Posee además una estancia, a cada lado del Presbiterio. El conjunto de todo ello viene a componer una planta rectangular de la que sobresalen tres capillas: la del cabecero que forma un Ábside rectangular, y otras dos en los extremos del transepto.

Dispone de contrafuertes únicamente en la nave, parcialmente absorbidos por los dos pórticos que se añadieron en las fachadas norte y sur a la altura del transepto.



Figura 12. Interior de San Pedro de la Nave

Las dos estancias, se comunican con el presbiterio mediante una puerta y un vano en forma de triple arco de medio punto con columnillas, estando iluminadas por dos vanos.

La nave central, como suele ser habitual, es más alta y ancha que las laterales y está separada de ellas por arcos formeros sustentados en recios pilares.

Las cubiertas son abovedadas en medio cañón, pero mientras las del cabecero y las de los recintos laterales se conservan en su original estructura, las de los tramos occidentales de las naves son de ladrillo volteado sobre los primitivos arranques de sillería. Los arcos son de herradura al modo visigótico.

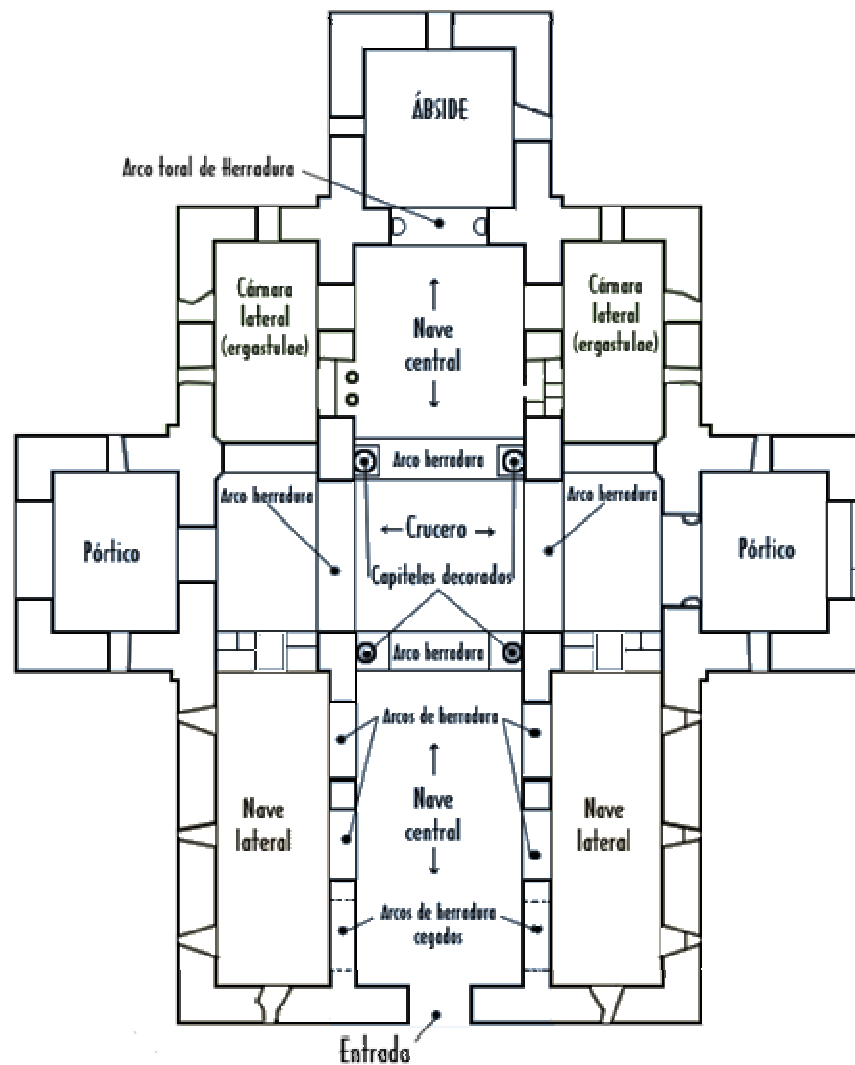


Figura 13. Planta de San Pedro de la Nave

1.5. Iglesia de Santa María de Melque

Santa María de Melque se encuentra en el término municipal de San Martín de Montalbán en la provincia de Toledo.

De todo el complejo, recientemente restaurado, destaca la iglesia, ejemplar visigótico, que constituye uno de los monumentos religiosos más destacados de la Alta Edad Media en España.

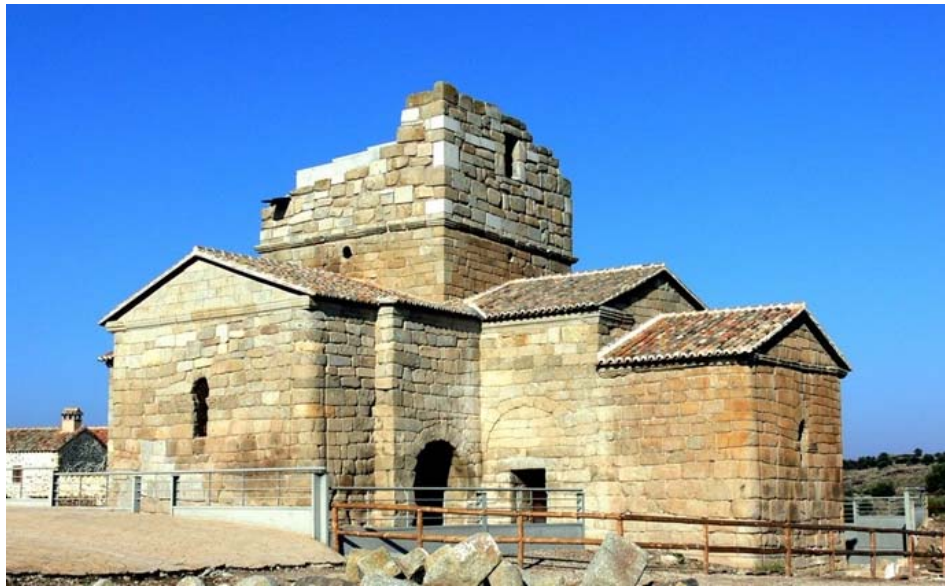


Figura 14. Vista de Santa María de Melque

Santa María de Melque nació como conjunto monástico en los siglos VII y VIII en las cercanías de la que era la capital del reino visigodo, Toledo. Su fecha de construcción inicial es muy antigua, del siglo VII, que coincide con el final del reino visigodo. Probablemente su construcción se paralizó cuando comenzó la llegada de los árabes y se terminó y se reformó después, habiendo sufrido múltiples vicisitudes históricas.

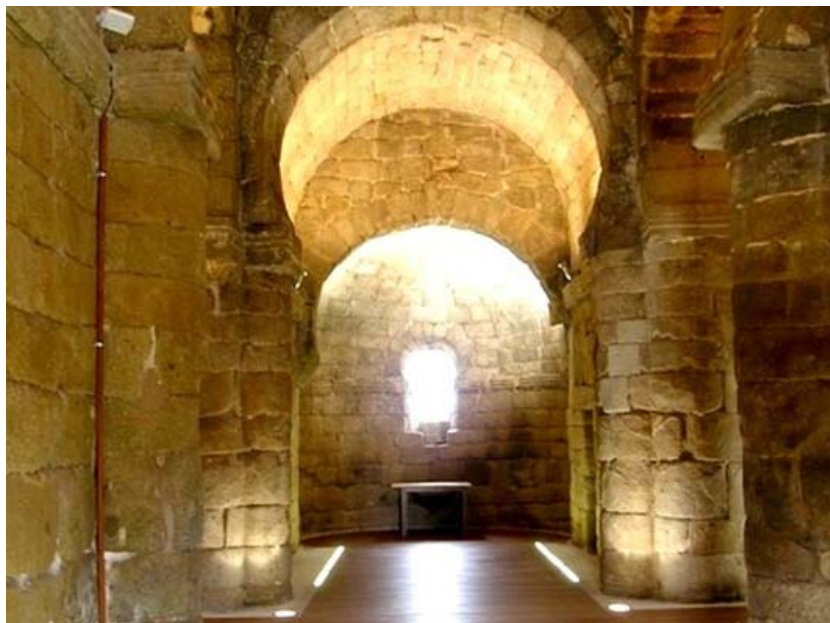


Figura 15. Interior de Santa María de Melque

La planta es cruciforme, con un ábside central. Los dos ábsides laterales fueron añadidos más tarde. Se conservan íntegras sus distintas naves, algunas capillas laterales y una sala dotada de arcos de herradura muy pronunciados. Se conserva también un nicho probablemente del fundador del templo.

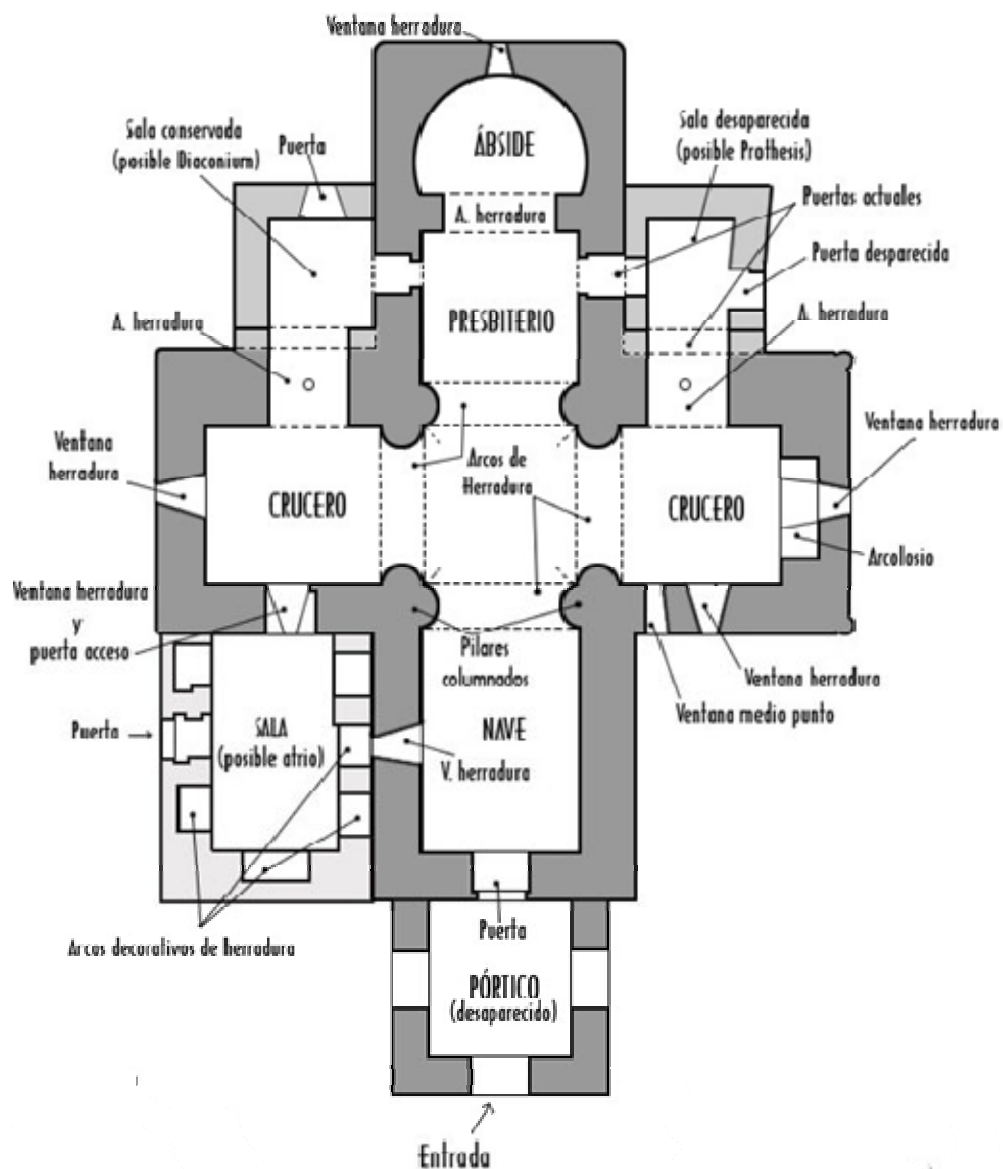


Figura 16. Planta de Santa María de Melque

El presbiterio es amplio como corresponde a una comunidad monástica y a ambos lados de él pueden apreciarse arcos de medio punto achatados. Sobre la bóveda se conserva la torre musulmana a la que se accedía por escalera exterior.

Su fábrica es de enormes bloques de granito ensamblados en seco, que recuerda el acueducto de Segovia.

Esta iglesia tiene aportaciones de estilo claramente visigodo y soluciones nuevas que aportan los mozárabes, y además recuerdos del estilo romano.

1.6. Iglesia de Santa Lucía del Trampal

La iglesia de Santa Lucía del Trampal, del siglo IX, situada en el municipio de Alcuéscar, en la provincia de Cáceres, es un ejemplo singular de arquitectura mozárabe, que ordena su cabecera con tres capillas rectangulares abiertas a un transepto.

Las tres capillas, paralelas y cubiertas con bóveda de herradura al igual que la nave, no tienen muros comunes, siendo estos independientes, con lo que los espacios entre capillas generan tramos en el transepto, el cual se prolonga más allá de ellas, contando con siete tramos. Los dos tramos intermedios y los dos extremos se cubren con bóveda de herradura, mientras que en los tramos frente a las capillas, los muros se prolongan por encima de las bóvedas descritas.

Se trata de un templo que tiene semejanzas compositivas en su cabecera con San Juan de Baños.

Debido a la dificultad de datación y a las peculiaridades del edificio, no está clara la fecha exacta de construcción. Algunas fuentes indican que la construcción finalizó a mediados del siglo VII (arquitectura visigoda) y otras retrasan la fecha hasta principios del siglo VIII (influencia mozárabe).

La estructura original incluía una nave principal y dos pequeñas naves laterales que formaban el cuerpo principal, seguido de un pequeño coro que daba paso al crucero.



Figura 17. Vista de Santa Lucía del Trampal

A finales del siglo XV se reconstruye el cuerpo principal del templo, bastante deteriorado después de más de cuatro siglos de abandono. Se eliminan las dos naves laterales para conseguir un único espacio interior en el cuerpo principal y se construyen los arcos ojivales que se pueden ver en la actualidad para soportar la nueva cubierta de madera.

La cabecera del templo es realmente singular ya que está formada por tres naves independientes y separadas, conformando un ábside triple.

El crucero estaba dividido en siete tramos por seis pares de columnas que sostenían los arcos de herradura. Toda la estructura del edificio estaba basada en estancias de dimensiones reducidas para permitir el abovedado completo. La cubierta estaba formada por bóvedas y pequeñas cúpulas de piedra.

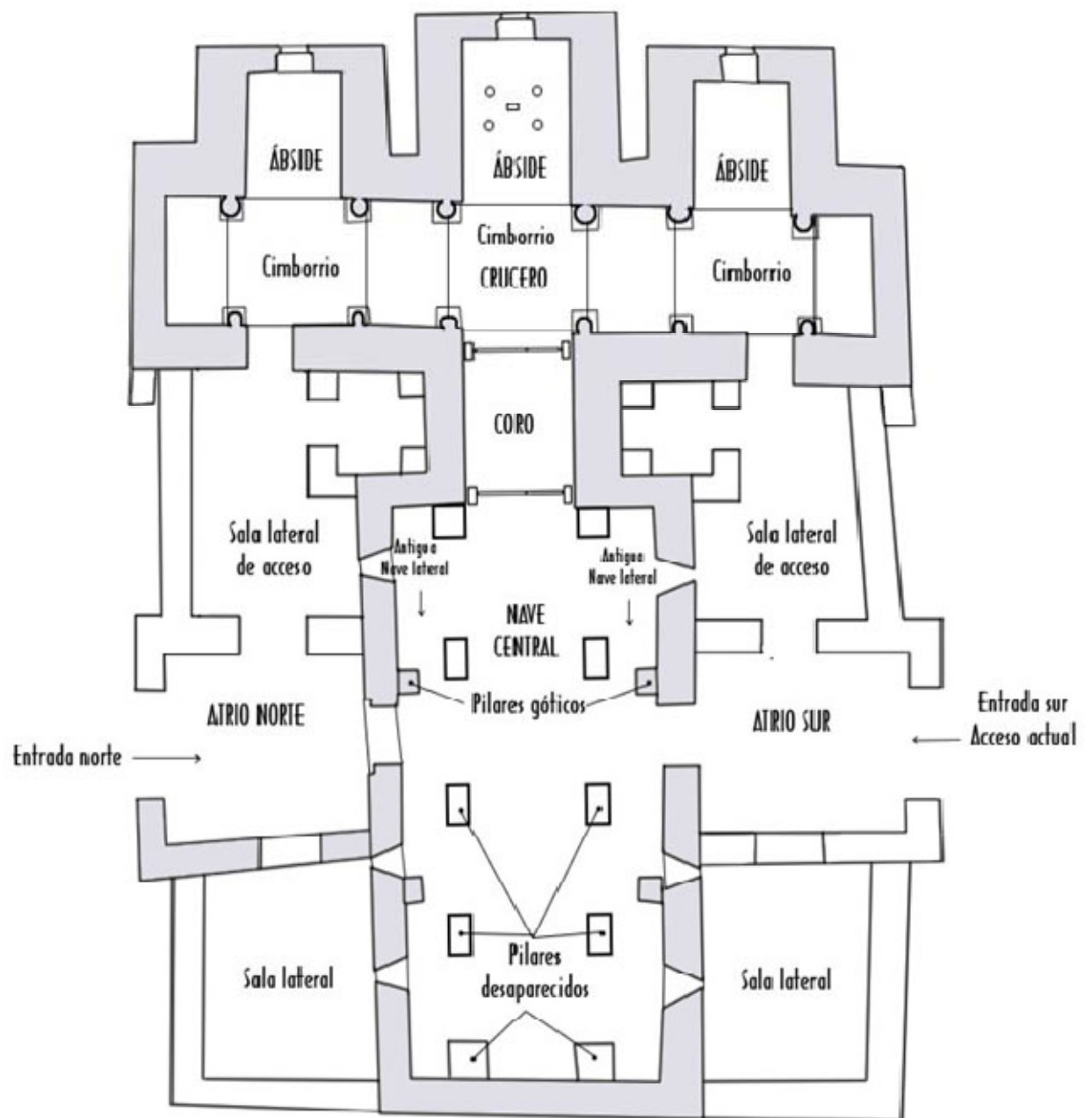


Figura 18. Planta de Santa Lucía del Trampal

2

Parámetros de Medida

2.1. Parámetros acústicos

En este punto del trabajo, se van a definir los parámetros acústicos objeto de estudio y que se han medido in situ. Más adelante, se presentarán los valores obtenidos mediante la realización de medidas en cada una de las iglesias y se compararán con los obtenidos de forma teórica.

Estos parámetros son: la claridad (C80) y la sonoridad (G).

Aunque no es uno de los parámetros que se van a someter a este estudio, el tiempo de reverberación es un valor representativo de cada recinto y es necesario tenerlo en cuenta, puesto que estará presente de forma relevante en el cálculo del resto de parámetros.

Cabe destacar el hecho de que las iglesias son recintos acústicamente complejos, debido a su geometría y a los diferentes usos que se le da, desde la lectura de una liturgia, la música de órgano o el canto del coro.

2.1.1. Claridad musical, C80

Este parámetro se basa en la relación entre la energía inicial y la energía tardía y se define como la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo y la que le llega después de los primeros 80 ms, calculada en cada banda de frecuencia entre 125 Hz y 4 kHz. El C80 se expresa logarítmicamente, de la siguiente forma:

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{0,08} p^2(t) dt}{\int_{0,08}^{\infty} p^2(t) dt} \quad (1)$$

Las reflexiones cuyo retardo, en relación a la señal directa, no superen los 80 ms, serán integradas por el oído junto a la señal directa.

La claridad nos da una idea de la cantidad de energía sonora inmediata que se produce dentro de los primeros 80ms, respecto a la energía sonora tardía.

Indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical, por lo que está más ligado a la calidad acústica de un recinto para la reproducción de música.

Puesto que no existen referencias a los valores óptimos para este parámetro, en el caso de las iglesias, se utilizan como criterios de valoración los establecidos por Beranek.

Beranek recomienda para la sala vacía que el valor de C_{80} oscile entre -4dB y 0dB.

2.1.2. Sonoridad, G

La sonoridad viene medida por la fuerza acústica, que es la diferencia entre el nivel de una fuente sonora continua calibrada medida en la sala y el nivel que la misma fuente genera a 10m en un ambiente anecoico.

$$G = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} h^2(t) dt}{\int_{0,08}^{t_{dir}} h^2(t) dt} = L_{pE} - L_{pE,10} \quad (2)$$

Es decir, la sonoridad, se corresponde con el grado de amplificación producido por el recinto. Este a su vez va a estar condicionado por la distancia del oyente a la fuente, de la energía asociada a las primeras reflexiones y del nivel del campo reverberante.

Por tanto, la sonoridad, en un punto cualquiera, aumenta con el incremento de la llegada de las primeras reflexiones, por lo que a un mayor tiempo de reverberación, se obtendrá un mayor valor de la sonoridad.

Esta cualidad, permite al oyente, percibir el sonido con mayor o menor fuerza.

Al igual que ocurre con la claridad musical, para G, tampoco existen referencias a los valores óptimos entre los que debe oscilar, en el caso de las iglesias, por lo que se toman como valores referentes los establecidos para salas vacías:

$$4 \text{ dB} \leq G \leq 5,5 \text{ dB}.$$

2.1.3. Tiempo de reverberación, T30

Cada recinto juega un importante papel en el campo sonoro que una fuente crea en su interior, influyendo sobre la señal que se propaga a través de él.

Los límites del recinto pueden producir reflexiones a partir de las incidencias de la onda sonora proveniente de la fuente de sonido. En estas reflexiones se absorbe parte de la energía incidente, pero a su vez la energía restante se refleja hacia el interior del recinto, alterando las características del sonido inicial y por tanto, modificando la calidad del sonido dentro del mismo.

Cuando una fuente sonora emite un sonido continuo, la densidad de energía en la sala se incrementa hasta llegar a un estado de equilibrio, es decir, la energía absorbida por el recinto es igual a la energía radiada por la fuente. Ese nivel de energía es denominado como estado estacionario. Una vez alcanzado este estado, si la fuente deja de emitir el sonido que llega al oyente no desaparece inmediatamente, sino, que seguirá percibiendo el sonido proveniente de las reflexiones, siendo la energía de éstas cada vez menor.

Este proceso de persistencia y disminución del sonido se conoce como reverberación. Y por tanto, el tiempo de reverberación es el tiempo que necesita la señal sonora para reducirse hasta el umbral de audición, una vez que la fuente ha dejado de emitir.

Según la norma ISO 3382, el tiempo de reverberación, queda definido como el tiempo, en segundos, que se requiere para que el nivel de presión sonora disminuya 60 dB cuando se interrumpe la fuente.

Debido a que ciertas veces se presentan dificultades para conseguir una curva de decaimiento energético adecuada para el cálculo del tiempo de reverberación, se suele trabajar con los valores de T30, como es este caso. El T30 se calcula sobre la curva de decaimiento energético, a partir de su valor en -5 dB respecto del máximo, y -35 dB por debajo del valor inicial.

3

Medidas in Situ

3.1. Procedimiento de Medidas in Situ

Para el conjunto de las 6 iglesias se realizaron medidas acústicas in situ, en las que se midieron los parámetros anteriormente descritos, la claridad (C_{80}), la sonoridad (G) y el Tiempo de Reverberación T_{30} . Estas medidas fueron llevadas a cabo por el Laboratorio de Acústica Arquitectónica de la Escuela Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.

Estas medidas se realizaron, en todos los casos con las iglesias vacías, siguiendo los procedimientos establecidos en la norma UNE-EN ISO 3382:2001. Para todas ellas se registraron las condiciones ambientales durante las mediciones:

- En el caso de la temperatura el rango de variación, para todas las iglesias, se situó entre 6,5 °C y 27 °C
- En el caso de la humedad relativa, los valores registrados se encontraron entre 27% y 70%
- Por último, los valores de la presión oscilaron entre 784mbar y 981mbar

Para todas las iglesias, se utilizó el método de la de integración de la respuesta impulsiva, empleando como señal de excitación un barrido exponencial y utilizando un micrófono con patrón de directividad omnidireccional.

Las mediciones se realizaron para las bandas de octava de frecuencia que van de 31,5 Hz a 16kHz.

Para estudiar el comportamiento acústico de las iglesias, para bajas, medias y altas frecuencias, el trabajo se ha centrado en las siguientes bandas de octava, por ser las más representativas:

- Para bajas frecuencias, se han tenido en cuenta las bandas de frecuencias de 125 y 250 HZ.
- Para media frecuencias, se considerarán los valores de las frecuencias de 500 y 1000 Hz
- Para altas frecuencias, se tomarán los valores medidos en las frecuencias de 2000 y 4000 Hz.

A partir de los valores registrados para esas frecuencias, se ha calculado el valor medio, para bajas, medias y altas frecuencias, mediante la siguiente expresión:

$$X_m(\text{dB}) = 10 \log \left(10^{\frac{X_1}{10}} + 10^{\frac{X_2}{10}} \right) \quad (3)$$

A continuación, se detalla en más en profundidad, la casuística para cada una de las iglesias, especificando la distribución de las medidas en el recinto.

3.2. Medidas obtenidas para la Iglesias de San Cebrián

Como se ha indicado anteriormente las mediciones acústicas se realizaron según la norma UNE-EN ISO 3382:2001.

Las condiciones atmosféricas registradas en el momento de la medición fueron de 16°C de temperatura, 976mbar de presión atmosférica y 70% de humedad.

Las mediciones se realizaron con la iglesia desocupada y con los elementos que en ella se encuentran de forma habitual: 13 filas de bancos en la nave, un confesionario de madera, la imaginería del altar y cada una de las capillas. Siendo de gran importancia, tener en cuenta que las naves tienen techumbre de madera, mientras que las paredes y el suelo son de piedra.

La distribución de los puntos de medida se eligió en base a la planta y las características arquitectónicas del espacio, definiéndose un número de puntos tal que se cubriese de forma uniforme la planta de la iglesia. Teniendo en cuenta que el largo máximo de la planta de la iglesia alcanza los 28m, siendo su ancho máximo de 14,9m, el número de posiciones elegido fue de 15, y se distribuyeron en el plano abarcando toda la superficie, tal y como se muestra en la siguiente figura.

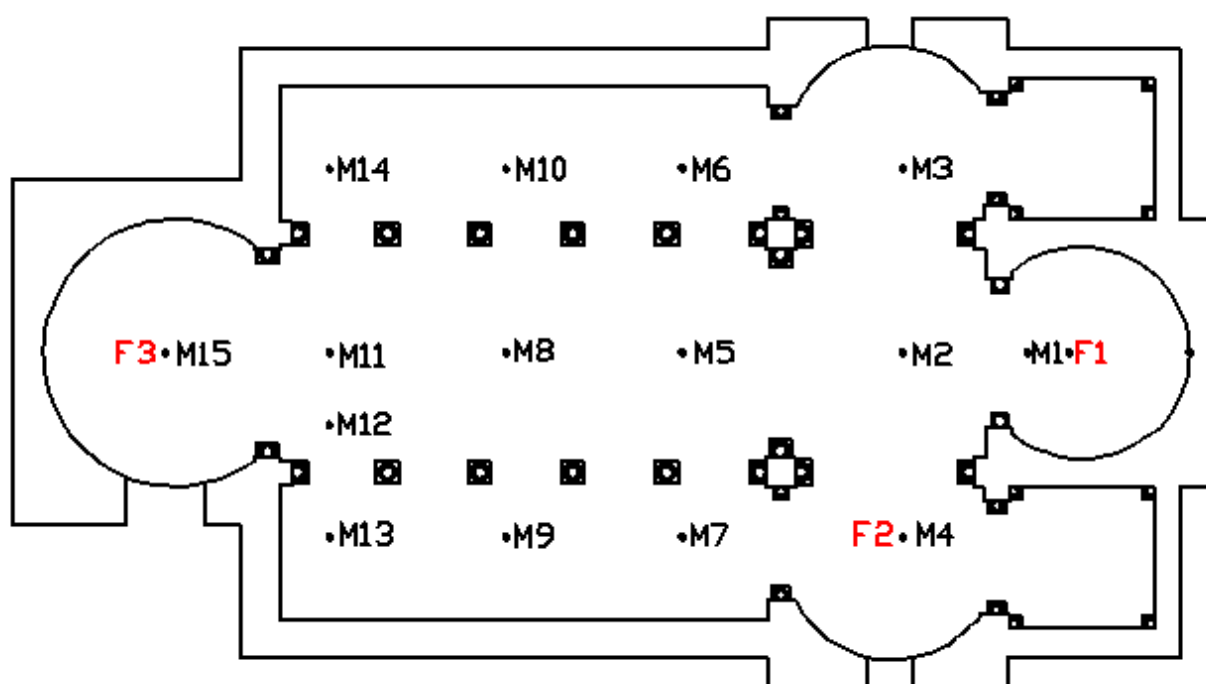


Figura 19. Posiciones de medida en San Cebrián

Se eligieron 3 posiciones de fuente, situadas en los puntos más representativos del recinto, como se puede observar en la figura anterior. Las fuentes se situaron a una altura de 1,5m, mientras que los micrófonos se situaron a una altura de 1,2m. Esta altura se considera como la altura media de una persona sentada.

La Fuente 1 (F1), se situó en el centro del altar, la Fuente 2 (F2) en la nave lateral derecha y la Fuente 3 (F3), se posicionó a los pies de la iglesia, en el centro del ábside.

La Fuente 1, se situó a tan sólo un metro de la posición de micrófono 1 (M1), ya que se usó, para el cálculo de otros parámetros acústicos específicos diferentes a los que nos ocupan en este proyecto.

En el caso de la Fuente 2, se posicionó coincidiendo con el punto de medida 4 (M4), mientras que en el caso de la fuente 3, su ubicación coincide con la misma donde se situó el punto de medida 15 (M15).

Para cada una de las fuentes se registraron medidas en cada uno de los 15 puntos de medida, exceptuando la posición de micrófono 1 para la Fuente 1, la

posición 4 para la Fuente 2 y la posición 15 para la fuente 3, por ser puntos coincidentes con las fuentes.

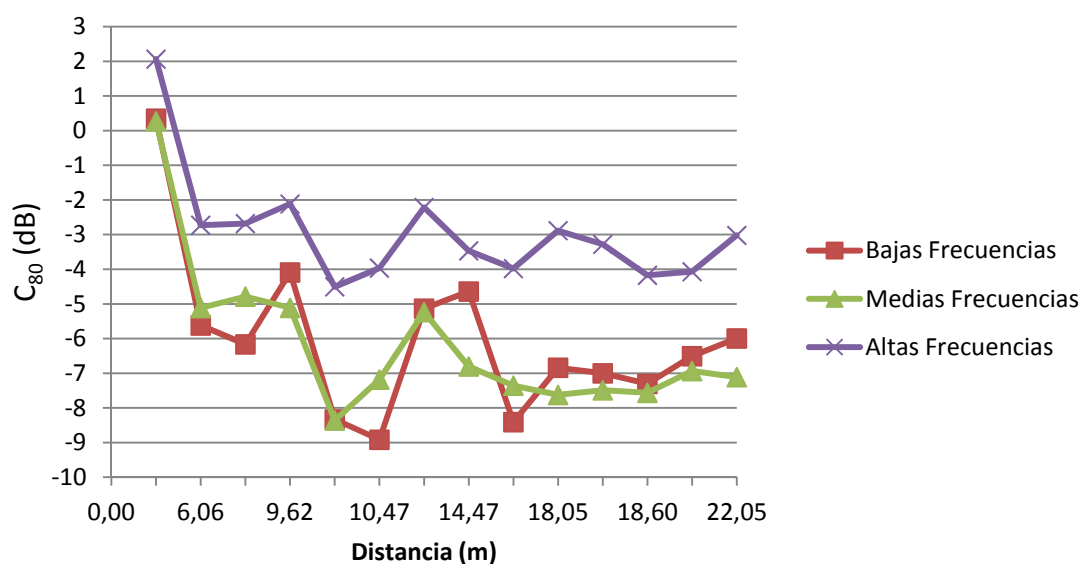
La siguiente tabla, muestra las distancias de los puntos de medida a cada una de las fuentes:

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	Distancia a Fuente 2 (m)	Distancia a Fuente 3 (m)
M1	-	5,44	21,05
M2	4,06	4,51	18,00
M3	6,06	9,00	18,56
M4	6,06	-	18,56
M5	9,62	8,27	12,72
M6	10,47	10,50	13,38
M7	10,47	5,41	13,38
M8	13,75	10,70	8,31
M9	14,47	9,70	9,45
M10	14,47	13,24	9,45
M11	18,05	14,71	4,01
M12	18,14	14,27	4,38
M13	18,60	14,00	6,03
M14	18,60	16,65	6,03
M15	22,05	18,56	-

Tabla 1. Distancias a las Fuentes Sonoras

A continuación, se presenta los valores medios de C_{80} y G obtenidos a partir de las medidas in situ, para bajas, medias y altas frecuencias, para cada uno de los puntos de medida y posición de fuente:

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C ₈₀ (dB) para F1		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	-	-	-	-
M2	4,06	0,35	0,27	2,06
M3	6,06	-5,62	-5,12	-2,73
M4	6,06	-6,16	-4,79	-2,68
M5	9,62	-4,09	-5,11	-2,12
M6	10,47	-8,33	-8,36	-4,50
M7	10,47	-8,92	-7,18	-3,96
M8	13,75	-5,13	-5,23	-2,22
M9	14,47	-4,64	-6,80	-3,47
M10	14,47	-8,41	-7,36	-3,98
M11	18,05	-6,84	-7,62	-2,88
M12	18,14	-7,00	-7,49	-3,28
M13	18,60	-7,30	-7,56	-4,17
M14	18,60	-6,50	-6,94	-4,07
M15	22,05	-5,99	-7,11	-3,02

Tabla 2. Valores de C₈₀ obtenidos para la Fuente 1Figura 20. Comparativa de C₈₀ para F1

Como se deduce de los datos presentados, la claridad presenta una tendencia decreciente con la distancia, con los valores más altos en alta frecuencia y los más bajos en las bajas frecuencias.

Se encuentra diferencias, dentro de una misma banda de hasta 8 dB y entre bandas de frecuencias de hasta 5 dB.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C ₈₀ (dB) para F2		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	5,44	-3,53	-2,28	-0,42
M2	4,51	1,81	-0,84	2,78
M3	9,00	-4,12	-2,29	0,23
M4	-	-	-	-
M5	8,27	-5,86	-4,64	-1,14
M6	10,50	-2,96	-4,64	-2,35
M7	5,41	-1,32	-0,48	1,64
M8	10,70	-3,18	-6,31	-4,01
M9	9,70	-3,66	-3,96	-0,28
M10	13,24	-5,58	-6,36	-3,74
M11	14,71	-5,44	-7,25	-5,35
M12	14,27	-4,08	-5,79	-4,49
M13	14,00	-3,43	-3,22	-0,80
M14	16,65	-2,50	-5,97	-4,79
M15	18,56	-6,13	-8,23	-6,61

Tabla 3. Valores de C₈₀ obtenidos para la Fuente 2

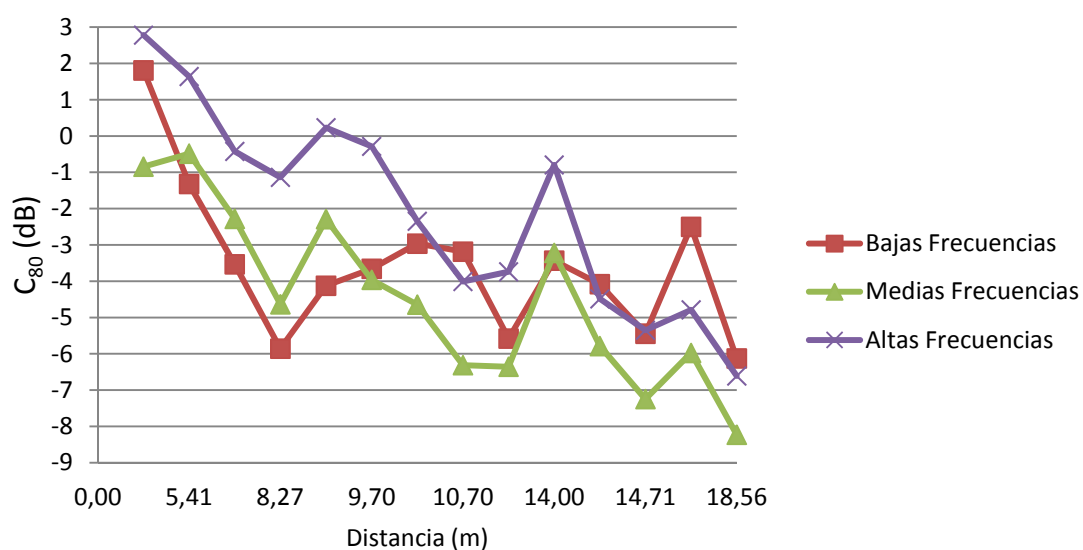
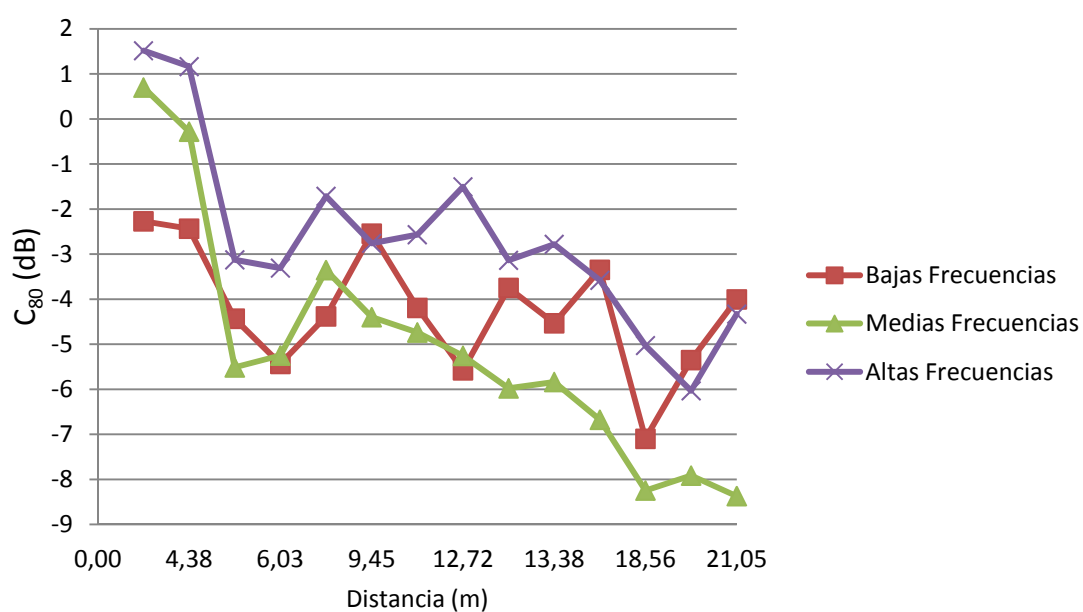


Figura 21. Comparativa de C_{80} para F2

Al igual que para la Fuente 1, los valores de C_{80} decrecen con la distancia a la fuente. En este caso, los valores para medias frecuencias a partir de 9,7 m se encuentran por debajo de los valores para bajas frecuencias. Sin embargo, los valores para altas frecuencias se mantienen como los más altos, si bien en los puntos más alejados a la fuente, se encuentran por debajo de los valores a bajas frecuencias.

Los valores se encuentran en un rango algo por encima de los valores para la Fuente 1. Dentro de una misma banda de frecuencias, se encuentran diferencias que llegan a los 10 dB y entre bandas de frecuencias de hasta 5 dB, aproximadamente.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C ₈₀ (dB) para F3		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	21,05	-4,00	-8,37	-4,33
M2	18,00	-3,35	-6,68	-3,58
M3	18,56	-7,10	-8,25	-5,03
M4	18,56	-5,35	-7,91	-6,03
M5	12,72	-5,58	-5,26	-1,50
M6	13,38	-3,75	-5,98	-3,14
M7	13,38	-4,53	-5,84	-2,78
M8	8,31	-4,38	-3,35	-1,71
M9	9,45	-2,54	-4,40	-2,76
M10	9,45	-4,19	-4,74	-2,57
M11	4,01	-2,27	0,70	1,52
M12	4,38	-2,43	-0,28	1,16
M13	6,03	-4,43	-5,51	-3,12
M14	6,03	-5,44	-5,25	-3,31
M15	-	-	-	-

Tabla 4. Valores de C₈₀ obtenidos para la Fuente 3Figura 22. Comparativa de C₈₀ para F3

Para la Fuente 3, se observa que la tendencia de los valores de la claridad, es decreciente con la distancia, para todas las bandas de frecuencias. Los valores a medias frecuencias se encuentran por debajo de los valores a bajas frecuencias, a partir de los 9 m aproximadamente, como ocurría para la Fuente 2. En el caso de las altas frecuencias, los valores son los más altos, aunque para los puntos más alejados de la fuente, son superados por los valores pertenecientes a las bajas frecuencias.

Los valores se aproximan a los obtenidos para la fuente 2.

Dentro de una misma banda de frecuencias, se encuentran diferencias que llegan a los 9dB y entre bandas de frecuencias de hasta 4 dB, aproximadamente.

Por otro lado, para los 3 casos de fuente, tanto los valores mínimos como los valores máximos están fuera del rango de valores recomendados para una sala vacía. Y en general, se observan grandes diferencias para un mismo punto en las diferentes bandas de frecuencia, llegando en algunos casos hasta casi 5 dB.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) para F1		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	-	-	-	-
M2	4,06	22,92	20,17	18,22
M3	6,06	17,95	16,94	14,83
M4	6,06	16,98	16,36	14,71
M5	9,62	17,46	15,75	14,33
M6	10,47	15,50	14,48	12,84
M7	10,47	15,95	14,75	13,06
M8	13,75	17,78	15,23	13,22
M9	14,47	15,63	14,30	12,78
M10	14,47	15,49	14,23	12,57
M11	18,05	16,83	15,03	12,72
M12	18,14	15,61	14,09	12,84
M13	18,60	15,41	13,78	11,80
M14	18,60	15,41	13,74	11,83
M15	22,05	16,86	14,30	12,58

Tabla 5. Valores de G obtenidos para la Fuente 1

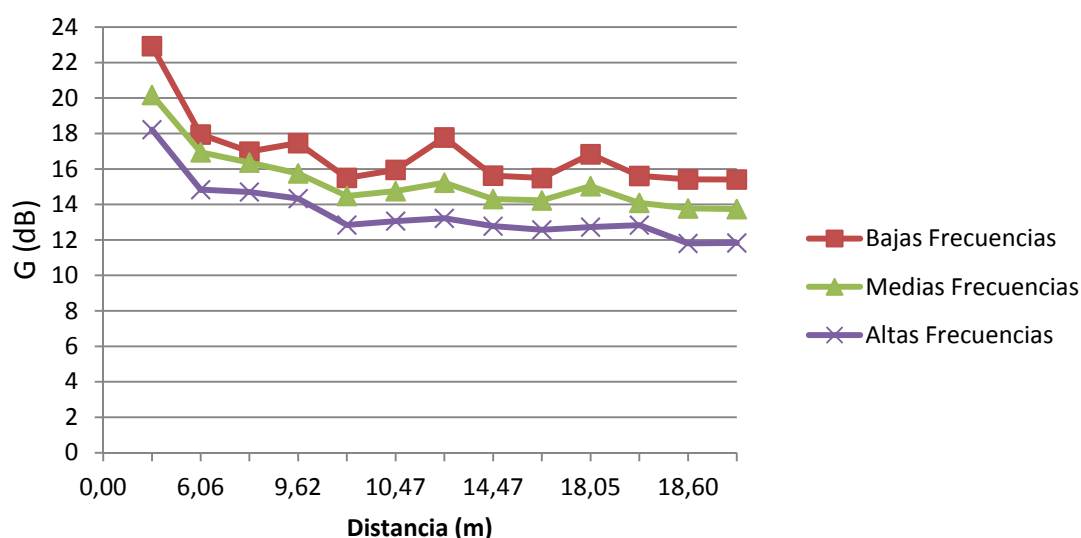


Figura 23. Comparativa de G para F1

Se observa que, la sonoridad decrece de forma más uniforme con la distancia, de lo que lo hacía C_{80} . En este caso los valores más altos se dan a bajas frecuencias, mientras que los más bajos, se encuentran en altas frecuencias. Dentro de una misma banda de frecuencias, se encuentran diferencias que llegan a los 8 dB y entre bandas de frecuencias de hasta 4 dB y 5 dB.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) para F2		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	5,44	19,66	17,55	16,24
M2	4,51	20,55	18,73	18,51
M3	9,00	18,24	17,19	16,29
M4	-	-	-	-
M5	8,27	17,79	16,16	15,12
M6	10,50	16,86	15,54	14,02
M7	5,41	18,09	17,31	16,79
M8	10,70	16,36	15,20	13,51
M9	9,70	17,21	15,73	14,91
M10	13,24	16,84	14,57	13,10
M11	14,71	16,61	14,77	12,55
M12	14,27	16,02	14,62	12,66
M13	14,00	16,71	15,27	13,92
M14	16,65	16,88	14,68	12,38
M15	18,56	15,78	14,51	12,16

Tabla 6. Valores de G obtenidos para la Fuente 2

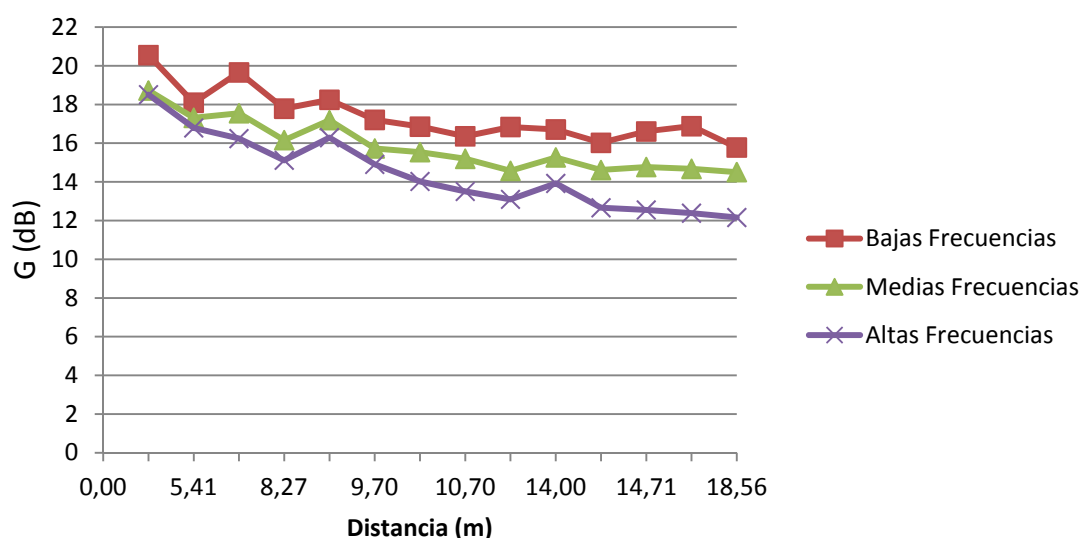


Figura 24. Comparativa de G para F2

Al igual que para la Fuente 1, los valores medidos para la Fuente 2, decrecen con la distancia para las 3 bandas de frecuencia y se mantienen los valores a bajas frecuencias por encima de los valores obtenidos a medias y altas, siendo los pertenecientes a esta última banda los más bajos. Se encuentran diferencias, dentro de una misma banda de hasta 6 dB y entre bandas de frecuencias de hasta 4,5 dB.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	G (dB) para F3		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	21,05	17,47	14,74	12,68
M2	18,00	17,03	15,15	13,04
M3	18,56	16,11	14,82	12,71
M4	18,56	15,54	14,63	12,13
M5	12,72	16,62	16,08	15,39
M6	13,38	18,47	15,36	14,37
M7	13,38	17,27	15,59	14,59
M8	8,31	18,43	17,32	15,97
M9	9,45	17,13	16,48	15,23
M10	9,45	17,43	16,46	15,35
M11	4,01	21,34	20,54	19,13
M12	4,38	19,78	19,08	18,69
M13	6,03	16,63	16,24	15,20
M14	6,03	16,92	16,27	15,77
M15	-	-	-	-

Tabla 7. Valores de G obtenidos para la Fuente 3

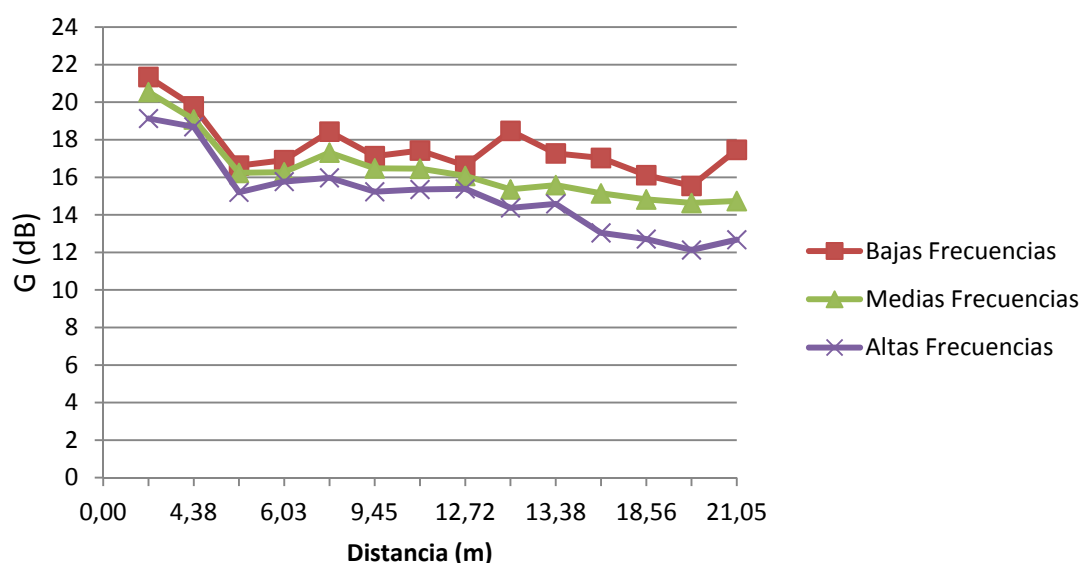


Figura 25. Comparativa de G para F3

De los valores mostrados para G, se deduce que, en el caso de las 3 fuentes, los valores decrecen con la distancia a la fuente, manteniéndose por encima los valores a bajas frecuencias, en prácticamente, todos los puntos de medida, y situándose como los más bajos los valores a altas frecuencias. Además, los valores obtenidos para las 3 fuentes están muy próximos entre sí.

Las diferencias entre valores de la banda de bajas frecuencias y los valores de la banda de altas frecuencias se encuentran entre los 3 y 4 dB, aproximadamente.

En todos los casos, además, los valores se encuentran muy por encima de los 5,5 dB, valores establecido como referencia.

3.3. Medidas obtenidas para la Iglesias de San Juan de Baños

Las mediciones acústicas se realizaron según la norma UNE-EN ISO 3382:2001, bajo las siguientes condiciones atmosféricas: 20°C de temperatura, 981 mbar de presión atmosférica y 65% de humedad.

Las mediciones se realizaron con la iglesia desocupada y con los elementos que en ella se encuentran de forma habitual: 10 filas de bancos almohadillados en la nave central y un altar de mármol. En las bóvedas adyacentes se encontraba un armario de madera y una pila bautismal de piedra.

Cabe destacar que el suelo, al igual que las paredes y el techo de las bóvedas es de piedra, no así el techo de la nave central y el de las naves laterales que son de madera.

Para las mediciones, se eligieron 15 posiciones de micrófono (M), repartidas por toda la planta de la iglesia, de tal forma que se cubriese todo el recinto. Siendo la planta de 16,5m de largo y 11,2m de ancho en la parte de la cabecera.

Para las fuentes (F), se eligieron 3 posiciones, repartidas por la iglesia, en los puntos más significativos: en el altar, en la nave lateral derecha y a los pies de la iglesia situada en la nave lateral izquierda.

Las fuentes se situaron a una altura de 1,5m, mientras que los micrófonos se situaron a una altura de 1,2m. Esta altura se considera como la altura media de una persona sentada. Aunque, para las medidas con la fuente situada en el altar, los micrófonos se situaron a una altura de 1,4m, ya que el altar está elevado con respecto al nivel de los oyentes, por lo que la Fuente 1 queda también elevada respecto a las posiciones de micrófonos.

La siguiente figura muestra la ubicación de cada posición de micrófono, así como de las posiciones de las fuentes:

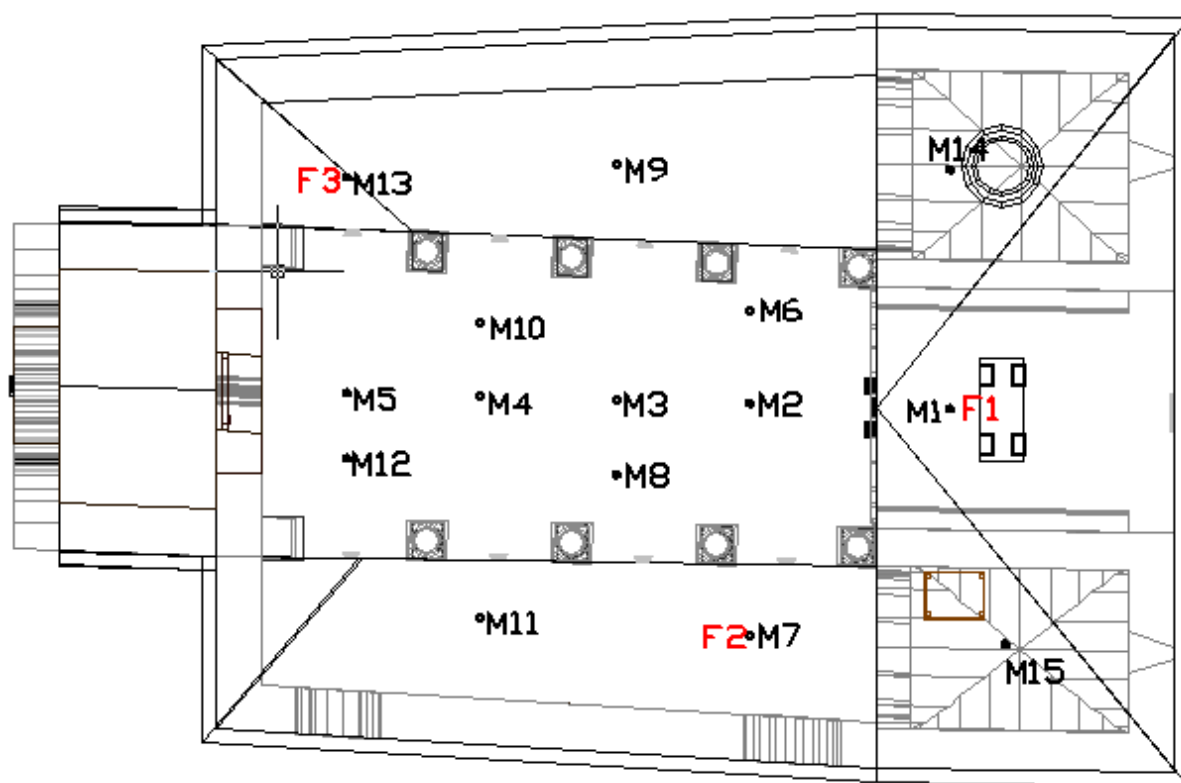


Figura 26. Posiciones de medida en San Juan de Baños

Cabe observar, que las posiciones de fuente F1, F2 y F3 coinciden con las posiciones de micrófono M1, M7 y M13 respectivamente.

Para cada una de las fuentes se registraron medidas en cada uno de los 15 puntos de medida, exceptuando la posición de micrófono 1 para la Fuente 1, la posición 7 para la Fuente 2 y la posición 13 para la Fuente 3, por ser puntos coincidentes con las fuentes.

En la siguiente tabla, se muestra las distancias de los puntos de medida a cada una de las fuentes:

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	Distancia a Fuente 2 (m)	Distancia a Fuente 3 (m)
M1	-	5,23	11,16
M2	3,48	4,03	7,99
M3	5,77	4,68	6,05
M4	8,12	6,24	4,44
M5	10,42	8,13	3,74
M6	3,87	5,62	7,34
M7	5,24	-	10,55
M8	5,88	3,63	6,94
M9	7,15	8,46	4,67
M10	8,25	7,14	3,43
M11	8,89	4,67	7,97
M12	10,46	7,61	4,87
M13	11,16	10,55	-
M14	4,15	8,77	10,42
M15	4,20	4,42	13,95

Tabla 8. Distancias a las Fuentes Sonoras

A continuación, se presenta los valores medios de C_{80} y G obtenidos a partir de las medidas in situ, para bajas, medias y altas frecuencias, para cada uno de los puntos de medida y posición de fuente:

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C_{80} (dB) para F1		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	-	-	-	-
M2	3,48	-0,45	2,54	4,84
M3	5,77	-1,86	2,30	2,95
M4	8,12	-2,47	0,46	2,18
M5	10,42	0,36	0,90	2,86
M6	3,87	-0,51	1,86	4,49
M7	5,24	-1,66	1,51	2,73
M8	5,88	0,00	1,12	2,41
M9	7,15	-2,70	-0,66	1,81
M10	8,25	-1,81	-0,49	1,72
M11	8,89	-1,09	-0,50	1,89
M12	10,46	-1,08	0,51	1,39

M13	11,16	-1,23	0,67	1,49
M14	4,15	-8,69	-4,78	-2,21
M15	4,20	-8,08	-4,03	-1,46

Tabla 9. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 1

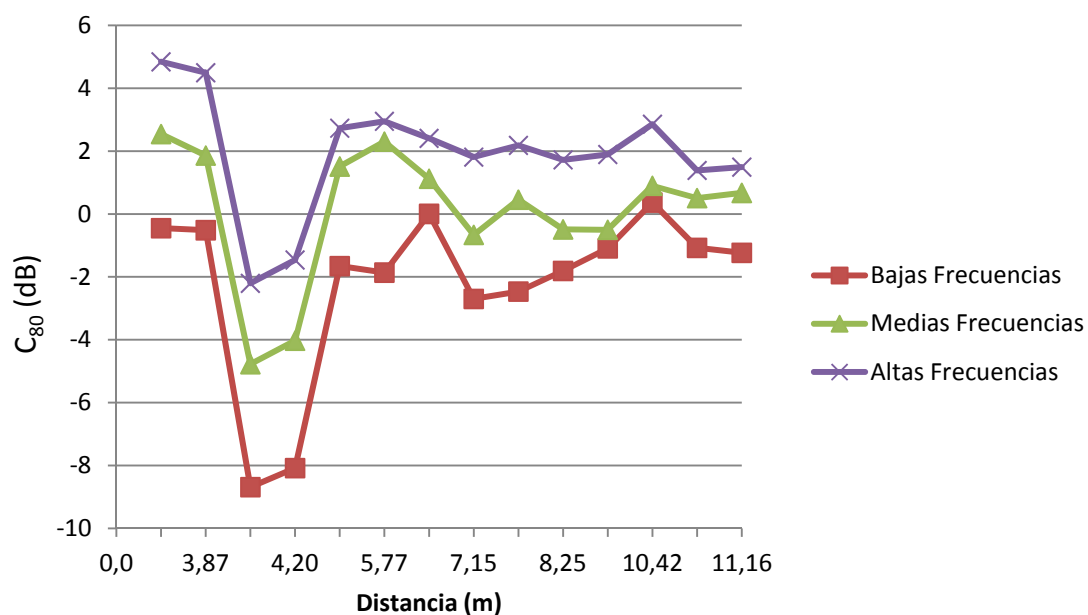
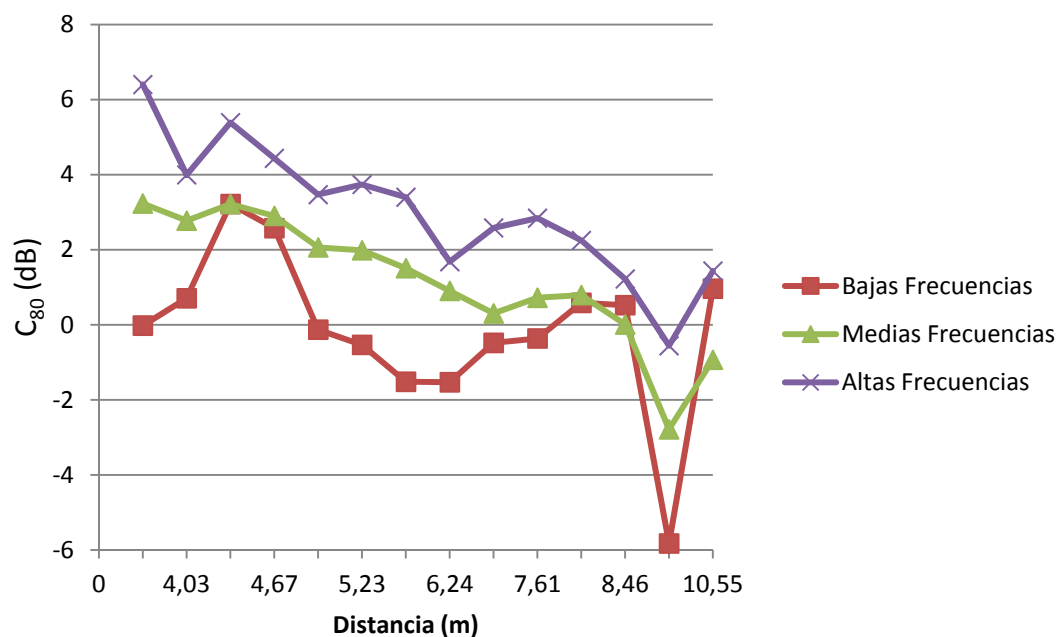


Figura 27. Comparativa de C_{80} para F1

Como se deduce de los datos presentados, la claridad presenta grandes variaciones con la distancia, con los valores más altos en alta frecuencia y los más bajos en las bajas frecuencias.

Se encuentra diferencias, dentro de una misma banda de hasta 8 dB y entre bandas de frecuencias de hasta 6 dB, aproximadamente.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C ₈₀ (dB) para F2		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	5,23	-0,53	1,99	3,74
M2	4,03	0,71	2,78	4,00
M3	4,68	-0,13	2,06	3,47
M4	6,24	-1,53	0,90	1,68
M5	8,13	0,59	0,79	2,25
M6	5,62	-1,52	1,51	3,40
M7	-	-	-	-
M8	3,63	-0,02	3,23	6,40
M9	8,46	0,52	0,01	1,22
M10	7,14	-0,48	0,30	2,58
M11	4,67	2,58	2,90	4,44
M12	7,61	-0,36	0,72	2,84
M13	10,55	0,96	-0,93	1,44
M14	8,77	-5,82	-2,78	-0,56
M15	4,42	3,22	3,22	5,39

Tabla 10. Valores de C₈₀ obtenidos para la Fuente 2Figura 28. Comparativa de C₈₀ para F2

En este caso, los valores de C_{80} presentan una tendencia decreciente con la distancia, con algunos picos y valles. Los valores para altas frecuencias se siguen manteniendo por encima de los valores del resto de bandas, y los pertenecientes a las frecuencias bajas, siguen situándose por debajo de la banda de frecuencias medias.

Los valores se encuentran en un rango, muy parecido a los medidos para la fuente 1. Dentro de una misma banda de frecuencias, se encuentran diferencias que llegan a los 9 dB y entre bandas de frecuencias de hasta 5 dB, aproximadamente.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C_{80} (dB) para F3		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	11,16	-2,50	-0,03	1,39
M2	7,99	-1,13	0,44	2,90
M3	6,05	0,23	0,37	2,64
M4	4,44	-0,03	1,86	5,12
M5	3,74	1,36	4,27	5,31
M6	7,34	0,88	0,48	2,67
M7	10,55	0,15	-0,58	1,55
M8	6,94	-0,67	1,76	2,57
M9	4,67	2,08	4,10	4,74
M10	3,43	0,64	3,94	5,38
M11	7,97	-2,23	1,86	2,80
M12	4,87	-1,17	3,34	4,56
M13	-	-	-	-
M14	10,42	0,19	1,15	3,10
M15	13,95	-2,47	-1,21	0,80

Tabla 11. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 3

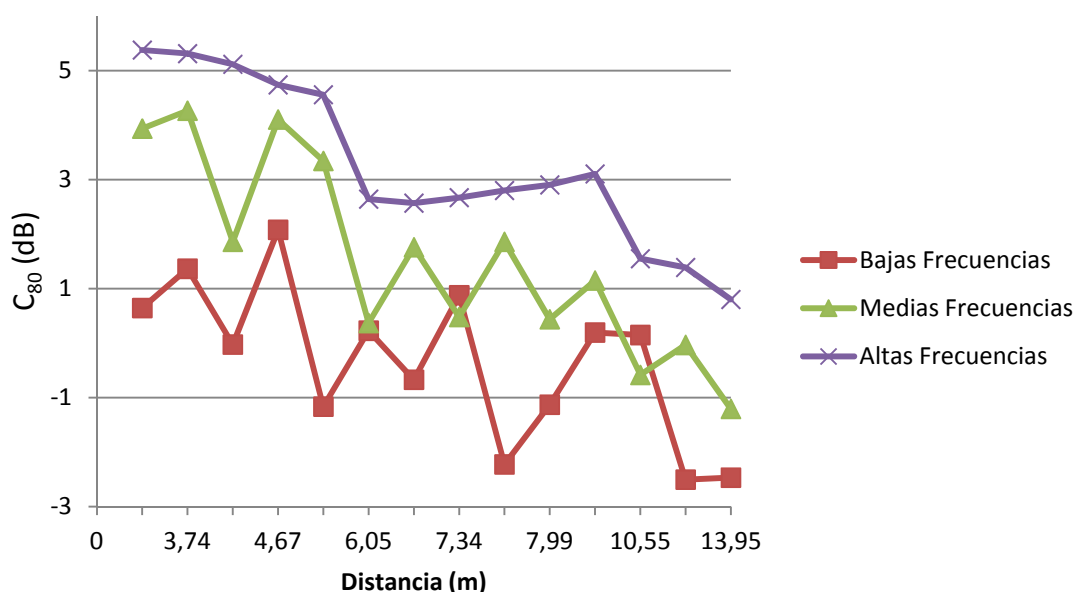


Figura 29. Comparativa de C_{80} para F3

Para la Fuente 3, se observa que la tendencia de los valores de la claridad, es decreciente con la distancia, para todas las bandas de frecuencias, con mucha fluctuación en el caso de las bajas y medias frecuencias. Los valores a altas frecuencias siguen siendo los más altos, mientras que los de bajas frecuencias aparecen como los bajos. El rango de valores en el que se mueven los valores para la Fuente 3, es muy similar al de la Fuente 2.

Dentro de una misma banda de frecuencias, se encuentran diferencias que llegan a los 4,5 dB y entre bandas de frecuencias de alrededor de 5 dB.

Por otro lado, para los 3 casos de fuente, tanto los valores mínimos como los valores máximos están fuera del rango de valores recomendados para una sala vacía. Y en general, se observan grandes diferencias para un mismo punto en las diferentes bandas de frecuencia, llegando en algunos casos hasta los 6 dB.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) para F1		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	-	-	-	-
M2	3,48	21,15	20,06	19,70
M3	5,77	20,05	19,26	17,65
M4	8,12	20,02	17,60	16,98
M5	10,42	20,29	17,63	16,84
M6	3,87	19,96	19,56	19,28
M7	5,24	20,19	18,52	17,56
M8	5,88	18,43	18,32	17,45
M9	7,15	19,39	17,46	16,95
M10	8,25	19,49	17,23	16,31
M11	8,89	18,54	17,32	16,74
M12	10,46	19,61	17,25	16,02
M13	11,16	19,14	16,68	15,78
M14	4,15	17,80	15,84	14,81
M15	4,20	16,57	15,40	14,23

Tabla 12. Valores de G obtenidos para la Fuente 1

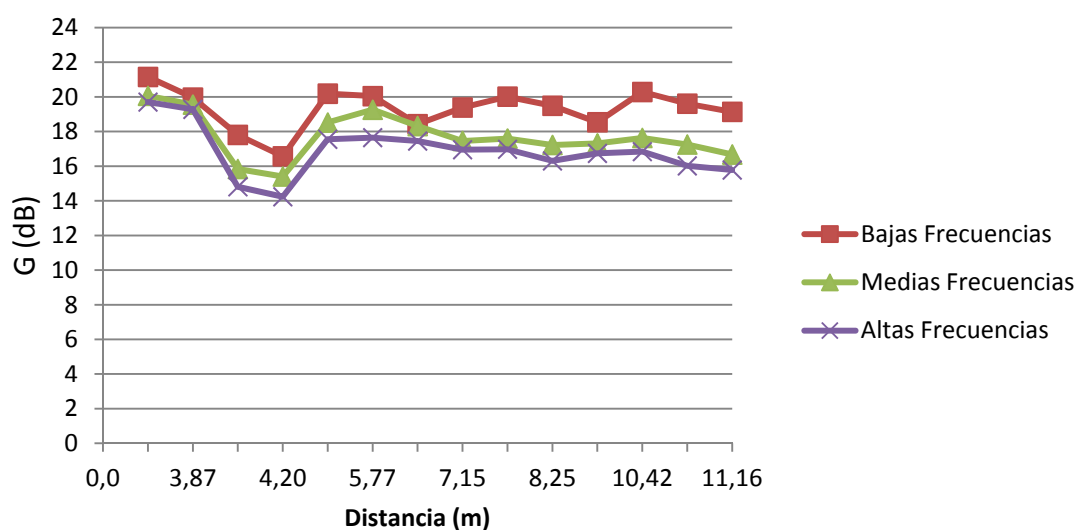


Figura 30. Comparativa de G para F1

De la figura anterior, se observa que la sonoridad decrece con la distancia, al igual que la claridad musical. En este caso los valores más altos se dan a bajas frecuencias, mientras que los más bajos, se encuentran en altas frecuencias.

Dentro de una misma banda de frecuencias, se encuentran diferencias que llegan a los 5,5 dB y entre bandas de frecuencias de alrededor de 3 dB. Aunque no obstante, se encuentran muy próximos entre ellos, sobre todo en el caso de las medias y altas frecuencias.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G(dB) para F2		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	5,23	19,70	18,78	18,29
M2	4,03	21,36	18,78	18,44
M3	4,68	20,97	18,21	17,57
M4	6,24	19,80	17,91	16,44
M5	8,13	20,33	17,48	16,35
M6	5,62	20,23	17,53	17,55
M7	-	-	-	-
M8	3,63	21,41	19,29	20,07
M9	8,46	20,11	16,73	15,25
M10	7,14	19,74	17,02	16,30
M11	4,67	22,27	19,45	19,10
M12	7,61	21,03	17,16	16,83
M13	10,55	19,18	15,60	15,29
M14	8,77	18,20	15,15	14,37
M15	4,42	22,67	20,83	21,10

Tabla 13. Valores de G obtenidos para la Fuente 2

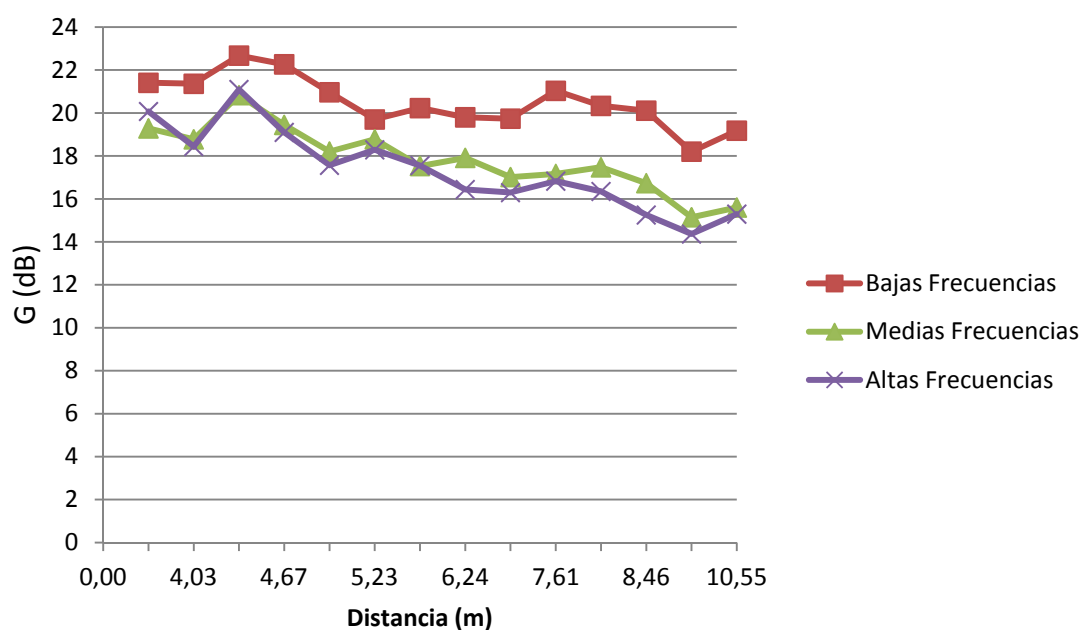


Figura 31. Comparativa de G para F2

Al igual que para la Fuente 1, los valores medidos para la Fuente 2, decrecen con la distancia para las 3 bandas de frecuencia y se mantienen los valores a bajas frecuencias por encima de los valores obtenidos a medias y altas, siendo los pertenecientes a esta última banda los más bajos.

Se encuentra diferencias, dentro de una misma banda de hasta 7 dB y entre bandas de frecuencias de aproximadamente 4 dB.

El rango de frecuencias en el que oscilan los valores es prácticamente igual que para el caso de la Fuente 1. Y al igual, que ocurría en ese caso, los valores a medias y altas frecuencias son muy similares, siendo la diferencia mayor de 1,48 dB.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) para F3		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	11,16	18,86	16,49	15,58
M2	7,99	20,23	17,08	16,85
M3	6,05	20,46	17,29	17,13
M4	4,44	20,37	18,57	19,12
M5	3,74	21,54	19,89	19,27
M6	7,34	21,68	17,13	16,54
M7	10,55	19,84	16,66	15,32
M8	6,94	20,23	17,42	16,36
M9	4,67	23,71	19,45	19,06
M10	3,43	21,50	19,27	19,12
M11	7,97	21,41	17,08	16,42
M12	4,87	19,32	18,61	18,01
M13	-	-	-	-
M14	10,42	22,10	18,08	17,62
M15	13,95	17,00	14,54	14,05

Tabla 14. Valores de G obtenidos para la Fuente 3

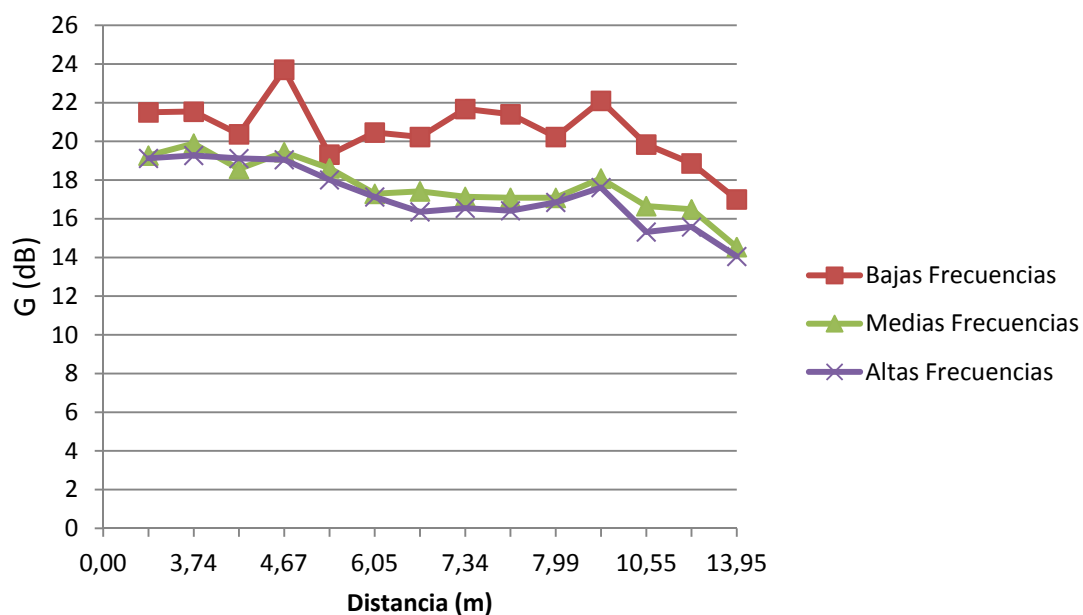


Figura 32. Comparativa de G para F3

En este caso, se sigue manteniendo la tendencia decreciente con la distancia y los valores para bajas frecuencias por encima del resto. El rango de frecuencias en el que oscilan los valores es prácticamente igual que para las dos fuentes anteriores.

Los valores a medias y altas frecuencias siguen siendo muy similares, con una diferencia máxima de 1,34 dB.

Se encuentra diferencias, dentro de una misma banda de hasta 6 dB y entre bandas de frecuencias de hasta 9 dB.

De los valores expuestos para G, se deduce que, en el caso de las 3 fuentes, los valores decrecen con la distancia a la fuente, manteniéndose por encima los valores a bajas frecuencias en todos los puntos de medida, y situándose como los más bajos los valores a altas frecuencias. Además, los valores obtenidos para las 3 fuentes están muy próximos entre sí.

En todos los casos, además, los valores se encuentran muy por encima de los 5,5 dB, valores establecido como referencia.

3.4. Medidas obtenidas para la Iglesia de San Pedro de la Nave

Las mediciones acústicas, al igual que en las anteriores, se realizaron según la norma UNE-EN ISO 3382:2001. No se cuenta con los datos de las condiciones ambientales en el momento de la medida.

Las mediciones se realizaron con la iglesia desocupada, hallándose únicamente una pila bautismal de piedra, 7 filas de bancos en la nave central y la imaginería usuales.

Mientras, las cubiertas del cabecero y de los recintos laterales son de piedra, las de los tramos occidentales de las naves son de ladrillo. El resto de la iglesia, paredes y suelo, es de piedra.

En este caso se optó por un número de posiciones de micrófono (M) igual a 6, repartidas por toda la superficie de la iglesia, cuyas medidas alcanzan los 19,1m de

largo y 9,3m de ancho, considerando la nave central y las dos naves laterales, sin tener en cuenta las dos estancias situadas a ambos lados del presbiterio. Si las tenemos en cuenta el ancho llega hasta los 16,1m.

En el caso de las fuentes (F) se eligieron 3 posiciones, en los puntos más relevantes: en el altar, en la nave lateral derecha y a los pies de la iglesia.

Las fuentes se situaron a una altura de 1,5m, mientras que los micrófonos se situaron a una altura de 1,2m.

La siguiente figura muestra la ubicación de cada posición de micrófono, así como de las posiciones de las fuentes:

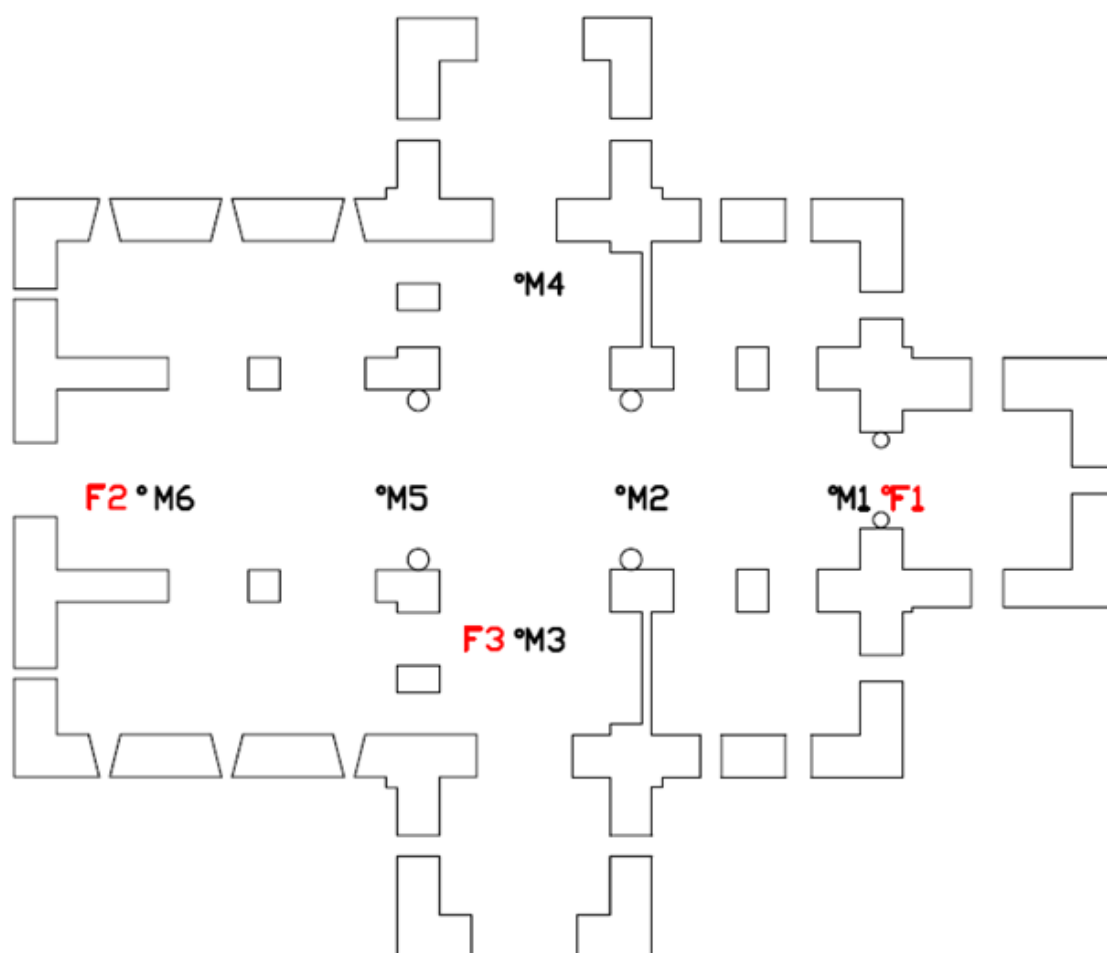


Figura 33. Posiciones de medida en San Pedro de la Nave

Cabe observar, que las posiciones de fuente F2 y F3 coinciden con las posiciones de micrófono M6 y M3 respectivamente.

Para cada una de las fuentes se registraron medidas en cada uno de los 6 puntos de medida, exceptuando la posición de micrófono 6 para la Fuente 2 y la posición 3 para la Fuente 3, por ser puntos coincidentes con las fuentes.

En la siguiente tabla, se muestra las distancias de los puntos de medida a cada una de las fuentes:

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	Distancia a Fuente 2 (m)	Distancia a Fuente 3 (m)
M1	1,04	13,00	6,50
M2	5,01	9,00	3,32
M3	7,42	7,60	-
M4	7,98	8,15	6,71
M5	9,50	4,51	3,76
M6	14,00	-	7,60

Tabla 15. Distancias a las Fuentes Sonoras

A continuación, se presenta los valores medios de C_{80} y G obtenidos a partir de las medidas in situ, para bajas, medias y altas frecuencias, para cada uno de los puntos de medida y posición de fuente:

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C_{80} (dB) para F1		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	1,04	5,25	7,13	8,33
M2	5,01	-0,98	0,05	2,14
M3	7,42	-1,40	-0,69	2,15
M4	7,98	-2,62	0,50	2,28
M5	9,50	-2,27	-0,32	2,06
M6	14,00	-2,58	-1,72	1,73

Tabla 16. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 1

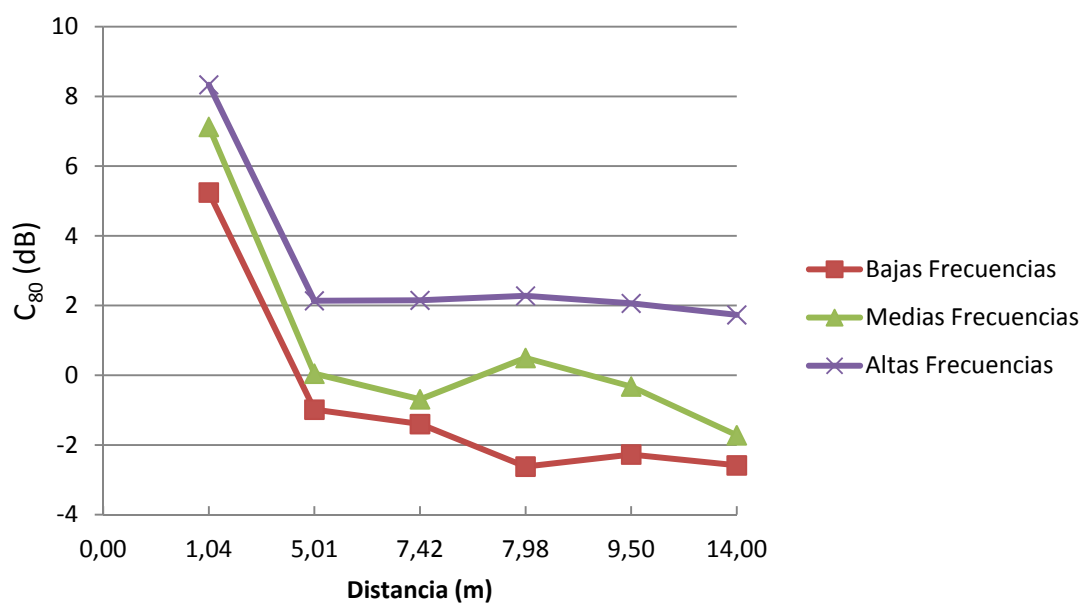


Figura 34. Comparativa de C_{80} para F1

Como se deduce de los datos presentados, la claridad presenta grandes variaciones con la distancia, con los valores más altos en alta frecuencia y los más bajos en las bajas frecuencias.

Se encuentra diferencias, dentro de una misma banda de hasta 7 dB.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C_{80} (dB) para F2		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	13,00	-1,68	-0,85	1,37
M2	9,00	-0,98	0,05	2,14
M3	7,60	0,58	0,54	3,79
M4	8,15	-3,21	-0,31	2,44
M5	4,51	3,75	4,07	6,25
M6	-	-	-	-

Tabla 17. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 2

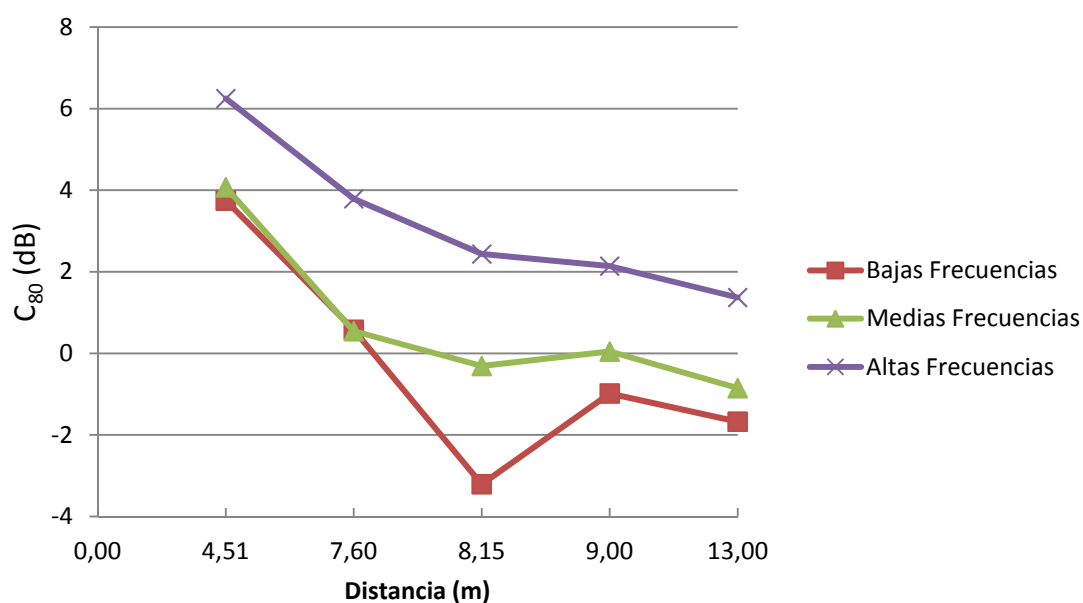


Figura 35. Comparativa de C₈₀ para F2

Para este caso, al igual que para F1, los mayores valores se encuentran a altas frecuencias y para todas las bandas, la claridad disminuye con la distancia.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C ₈₀ (dB) para F3		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	6,50	-0,70	-0,08	2,54
M2	3,32	2,67	3,58	4,99
M3	-	-	-	-
M4	6,71	1,41	2,37	3,26
M5	3,76	2,44	2,93	6,00
M6	7,60	0,50	0,14	3,10

Tabla 18. Valores de C₈₀ obtenidos para la Fuente 3

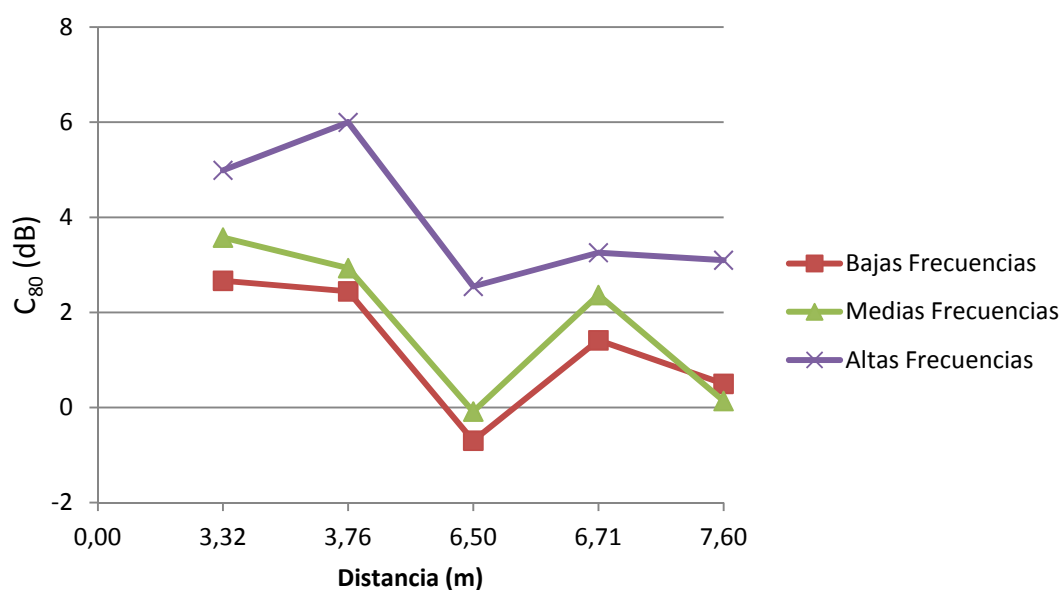


Figura 36. Comparativa de C_{80} para F3

En este caso, los valores fluctúan más, que para F1 y F2, y los valores para medias y bajas frecuencias se encuentran más próximos entre sí.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) para F1		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	1,04	28,94	28,60	26,53
M2	5,01	21,57	18,16	15,91
M3	7,42	19,63	18,48	17,47
M4	7,98	18,90	19,04	17,78
M5	9,50	21,19	17,89	16,01
M6	14,00	18,17	16,21	14,00

Tabla 19. Valores de G obtenidos para la Fuente 1

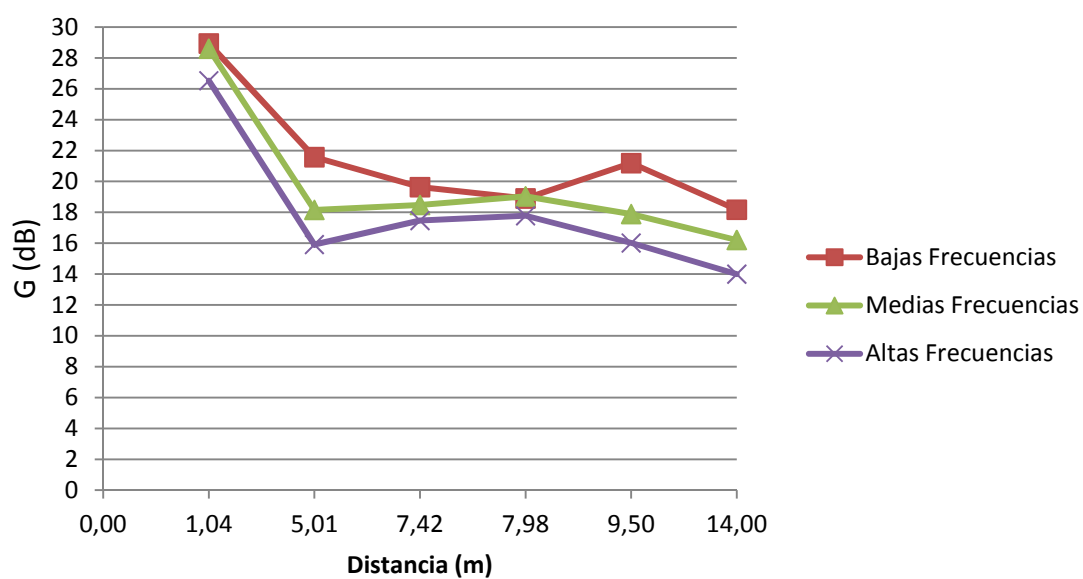


Figura 37. Comparativa de G para F1

La fuerza sonora, al igual que la claridad, decrece con la distancia, aunque en este caso, los valores más elevados se dan en la banda de frecuencias bajas.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) para F2		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	13,00	20,13	17,07	14,35
M2	9,00	21,57	18,16	15,91
M3	7,60	18,74	17,41	16,74
M4	8,15	17,71	16,93	15,99
M5	4,51	23,93	20,91	20,37
M6	-	-	-	-

Tabla 20. Valores de G obtenidos para la Fuente 2

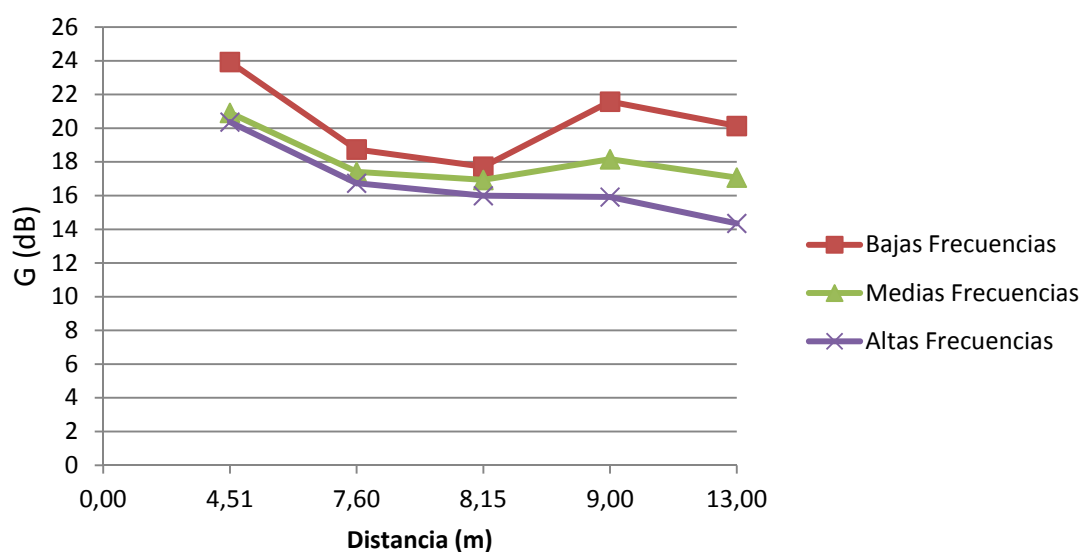


Figura 38. Comparativa de G para F2

Se sigue manteniendo una caída de los valores con el aumento de la distancia a la fuente, siendo menos pronunciada para altas frecuencias.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	G (dB) para F3		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	6,50	20,19	19,55	18,57
M2	3,32	22,57	22,27	21,70
M3	-	-	-	-
M4	6,71	21,43	20,22	18,31
M5	3,76	21,48	20,68	20,28
M6	7,60	19,56	17,22	16,60

Tabla 21. Valores de G obtenidos para la Fuente 3

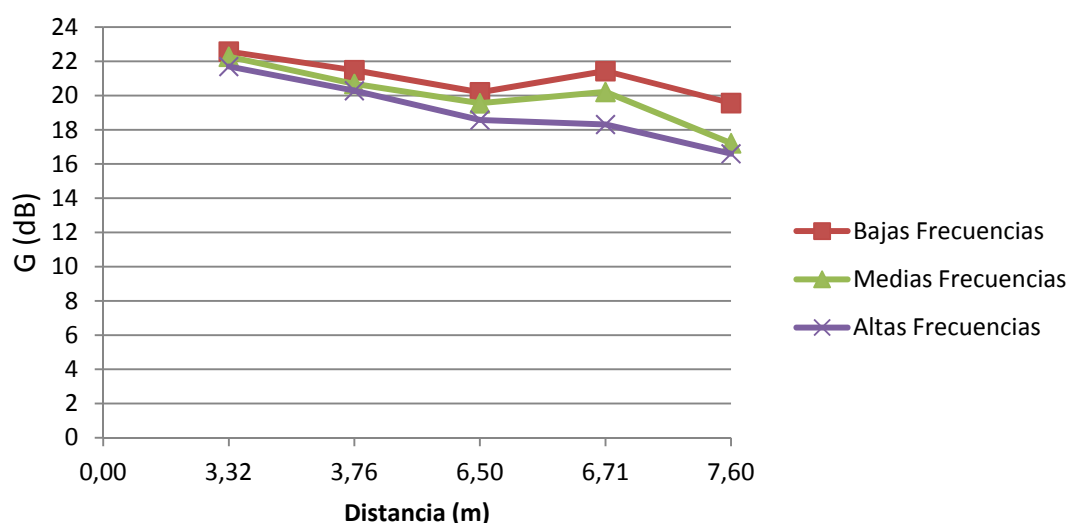


Figura 39. Comparativa de G para F3

Se observa que G, disminuye con la frecuencia en todas las bandas. Además, los valores son mayores para la banda de frecuencias bajas, mientras que para altas frecuencias los valores son menores.

3.5. Medidas obtenidas para la Iglesia de Santa María de Melque

Durante las mediciones acústicas en la iglesia de Santa maría de Melque, según la norma UNE-EN ISO 3382:2001, se registraron 6,5° C de temperatura, un 68% de humedad y una presión atmosférica de 748 mbar.

Las mediciones se realizaron con la iglesia desocupada. No existen en su interior ningún tipo de mobiliario como bancos, tan sólo se hallaba una gran mesa de granito pulido situada en el ábside. A diferencia de lo que ocurría en las iglesias anteriormente descritas, es importante recalcar que el suelo es de madera. Las paredes y el techo, sin embargo son de piedra, como ya se indicó.

En base a las características de la planta, de 22,1m de largo y 16,8m de ancho se distribuyeron las posiciones de los micrófonos, definiéndose un número de puntos tal que se cubriese de forma uniforme la planta de la iglesia. El número de posiciones elegido fue de 6, y se distribuyeron en el plano abarcando toda la superficie,

situándose en los puntos centrales de cada una de las naves laterales y en los pies y la cabecera de la iglesia, tal y como se muestra en la siguiente figura:

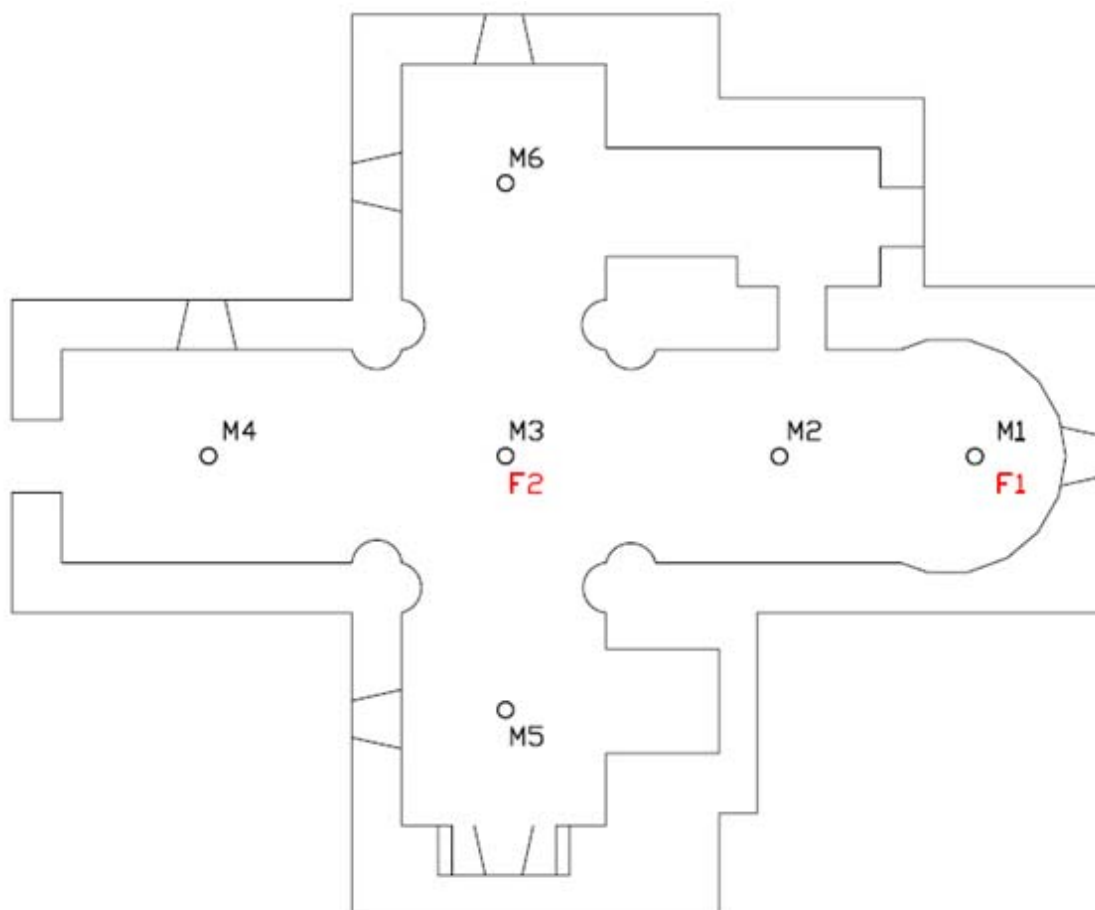


Figura 40. Posiciones de medida en Santa María de Melque

Se eligieron 2 posiciones de fuente, situadas en los puntos más representativos del recinto, como se puede observar en la figura anterior. Las fuentes se situaron a una altura de 1,5m, mientras que los micrófonos se situaron a una altura de 1,2m.

La Fuente 1 (F1), se situó en el centro de la cabecera y la Fuente 2 (F2) en el punto medio de la nave central, coincidiendo con el cruce con las naves laterales.

Cabe destacar que la Fuente 1 se posicionó coincidiendo con el punto de medida 1 (M1), y lo mismo ocurre para la Fuente 2 y el punto de medida M3.

Para cada una de las fuentes se registraron medidas en cada uno de los puntos de medida, exceptuando la posición de micrófono 3 para la Fuente 2, y 1 para F1.

La siguiente tabla, muestra las distancias de los puntos de medida a cada una de las fuentes:

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	Distancia a Fuente 2 (m)
M1	-	10,35
M2	4,32	6,05
M3	10,35	-
M4	16,90	6,56
M5	11,77	5,61
M6	11,92	6,01

Tabla 22. Distancias a las Fuentes Sonoras

A continuación, se presenta los valores medios de C_{80} y G obtenidos a partir de las medidas in situ, para bajas, medias y altas frecuencias, para cada uno de los puntos de medida y posición de fuente:

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C_{80} (dB) para F1		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	-	-	-	-
M2	4,32	1,76	2,49	3,89
M3	10,35	-2,61	-0,52	0,79
M4	16,90	-2,76	-3,27	-0,62
M5	11,77	-3,50	-2,91	-1,78
M6	11,92	-4,06	-4,01	-1,72

Tabla 23. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 1

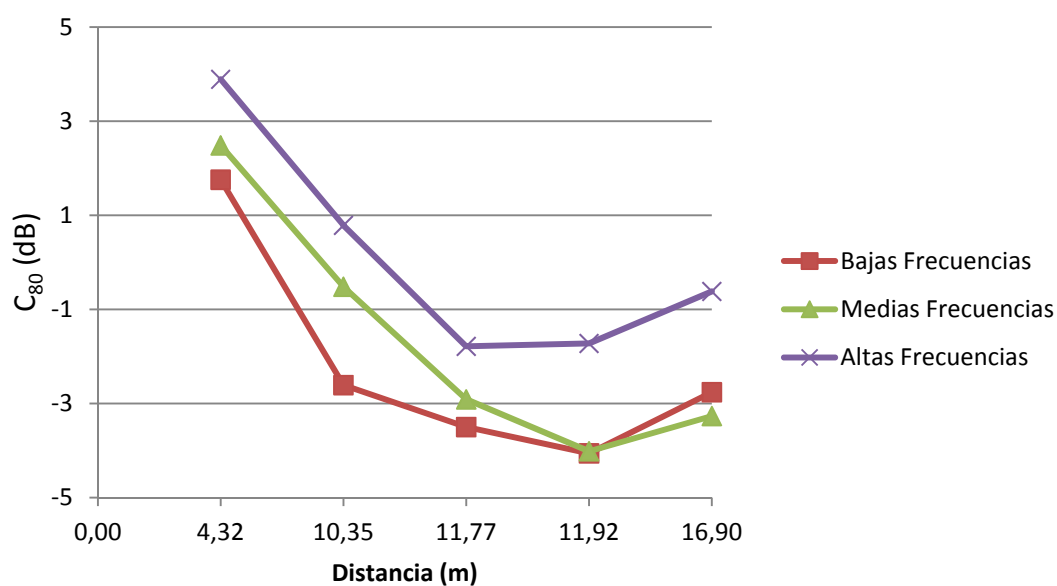


Figura 41. Comparativa de C_{80} para F1

Como se puede observar, los valores decrecen con la distancia, aunque presentan un aumento en el punto más alejado de la fuente. Para altas frecuencias, se aprecian valores superiores que para bajas frecuencias.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C_{80} (dB) para F2		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	10,35	-3,12	-1,79	1,22
M2	6,05	-2,48	-0,39	1,10
M3	-	-	-	-
M4	6,56	-2,64	-0,86	1,83
M5	5,61	-1,83	-0,16	1,27
M6	6,01	-3,48	-1,21	1,61

Tabla 24. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 2

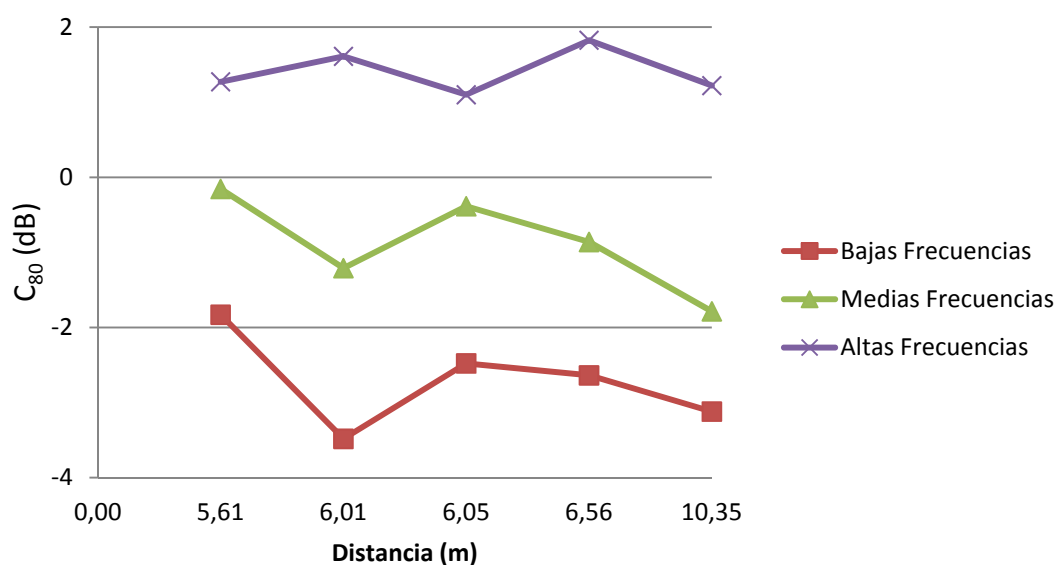


Figura 42. Comparativa de C_{80} para F2

En este caso, no se parecía una caída bien definida en la banda de altas frecuencias, aunque sí para las bandas de medias y bajas frecuencias.

En términos generales, se puede establecer, que los valores de la claridad disminuyen con la distancia a la fuente.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) para F1		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	-	-	-	-
M2	4,32	21,90	22,12	19,77
M3	10,35	17,66	18,12	15,96
M4	16,90	15,58	16,17	13,80
M5	11,77	14,93	16,39	13,57
M6	11,92	16,67	15,98	13,53

Tabla 25. Valores de G obtenidos para la Fuente 1

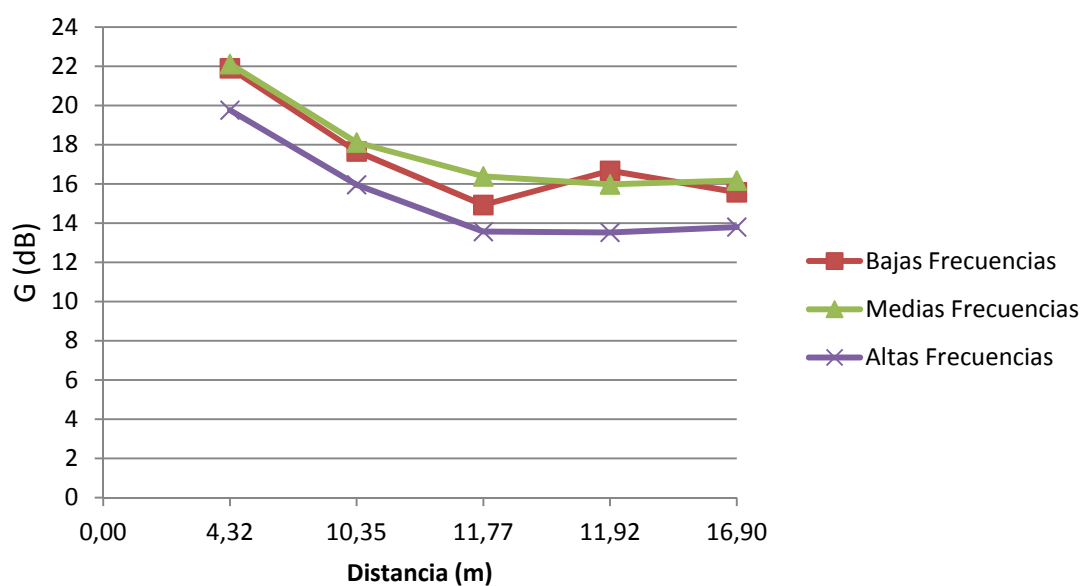


Figura 43. Comparativa de G para F1

Los valores de la sonoridad decrecen con el aumento de la distancia fuente-receptor

Es en altas frecuencias donde los valores para este parámetro son más pequeños.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) para F2		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	10,35	17,58	17,93	16,35
M2	6,05	18,23	18,28	16,05
M3	-	-	-	-
M4	6,56	17,58	18,18	16,06
M5	5,61	17,92	17,61	15,75
M6	6,01	17,87	17,81	16,19

Tabla 26. Valores de G obtenidos para la Fuente 2

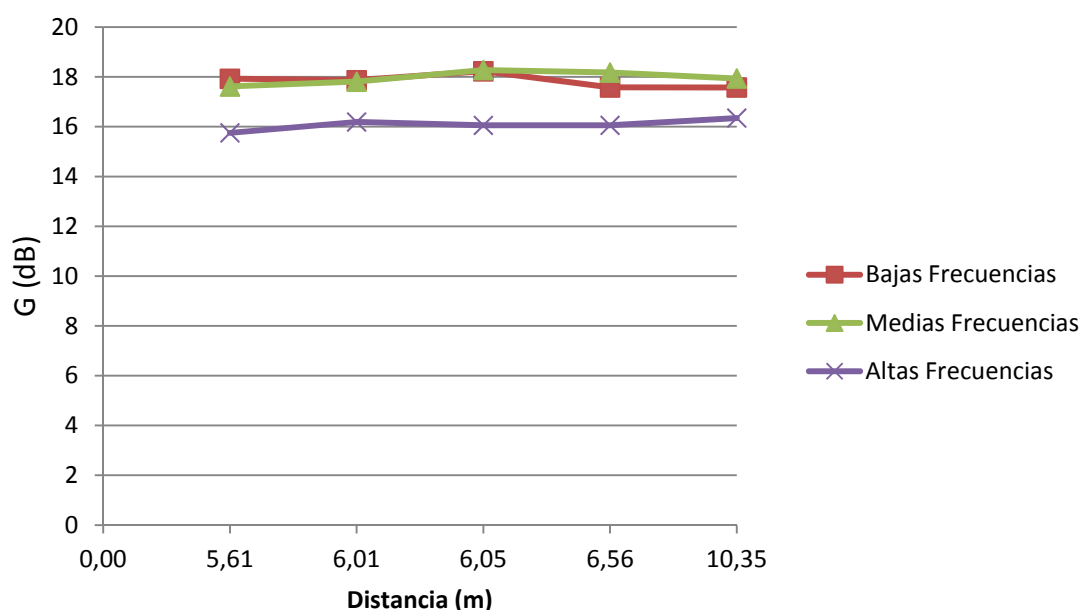


Figura 44. Comparativa de G para F2

Para la Fuente 2, G casi no varía con el aumento de la distancia, estando los valores para bajas y medias frecuencias muy próximos entre sí. No se parecía una caída claramente definida en función de la distancia, al contrario que para la Fuente 1.

3.6. Medidas obtenidas para la Iglesia de Santa Lucía del Trampal

En el transcurso de las mediciones acústicas en la iglesia de Santa Lucía del Trampal, las condiciones atmosféricas registradas fueron las siguientes:

- 27°C de temperatura
- 27% de humedad relativa
- 971 mbar de presión atmosférica

La iglesia se encontraba desocupada, en el momento de la realización de las medidas. No existen en su interior ningún tipo de mobiliario como bancos, reclinatorios, atriles o confesionarios. Además tampoco está presente ningún tipo de imagerie.

La planta de la iglesia cuenta con un largo de 21,1m, un ancho de 5,3m en lo que a la nave principal se refiere, de 14,7m en la parte del crucero y 2,2m en la parte del coro.

Para las mediciones, se eligieron 8 posiciones de micrófono (M), repartidas por toda la planta de la iglesia, de tal forma que se cubriese todo el recinto.

En el caso de las fuentes (F) se eligieron 3 posiciones, en los puntos más representativos: en el altar, en la nave lateral derecha y a los pies de la iglesia.

La siguiente figura muestra la ubicación de cada posición de micrófono, así como de las posiciones de las fuentes:

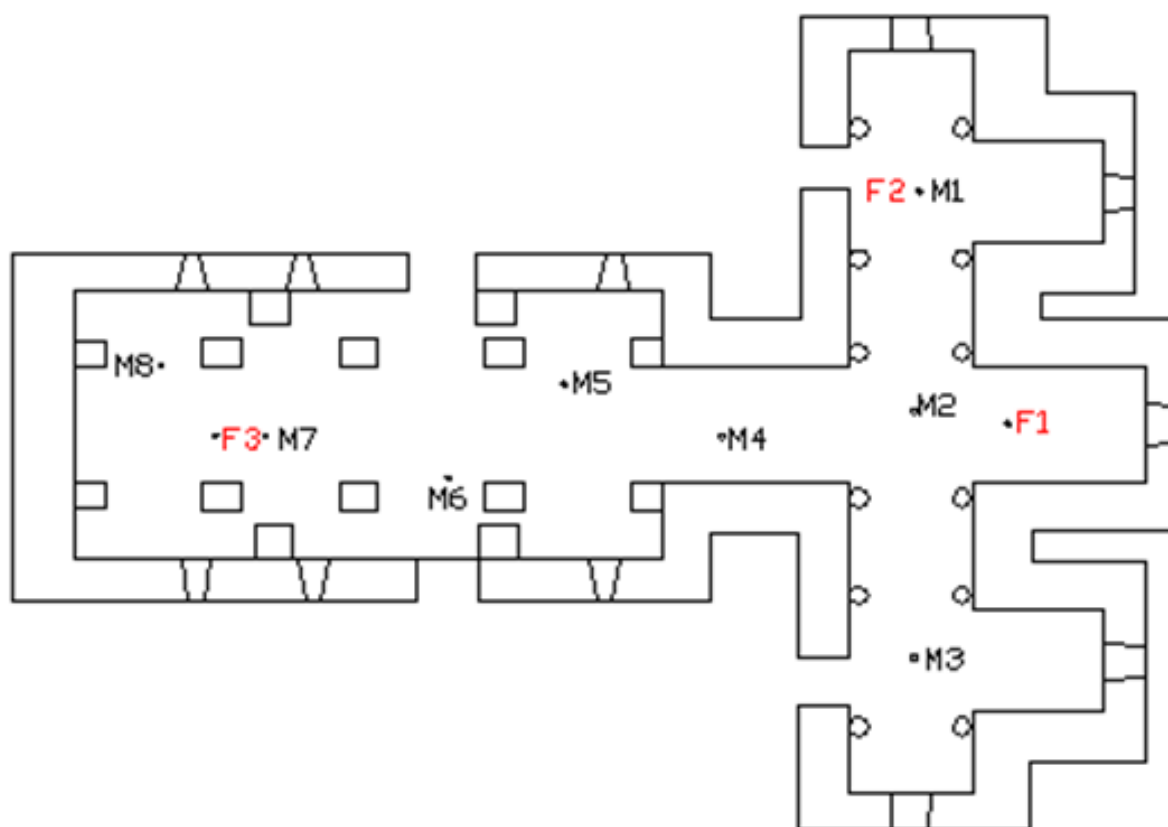


Figura 45. Posiciones de medida en Santa Lucía del Trampal

Las fuentes se situaron a una altura de 1,5m, mientras que los micrófonos se situaron a una altura de 1,2m, excepto para el caso del punto de medida 8, que se

situó a 1,5m, para medir además, otros parámetros acústicos específicos, que así lo requieren y que no están contemplados en este proyecto

Para cada una de las fuentes se registraron medidas en cada uno de los puntos de medida. Cabe mencionar que, para la fuente colocada en la posición F2 no se realizaron medidas en el punto M1, por ser puntos coincidentes. En la siguiente tabla, se muestra las distancias de los puntos de medida a cada una de las fuentes:

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	Distancia a Fuente 2 (m)	Distancia a Fuente 3 (m)
M1	4,91	-	14,69
M2	1,88	4,36	13,82
M3	5,00	9,22	14,49
M4	5,66	6,19	10,00
M5	8,79	7,94	6,98
M6	11,11	10,87	4,69
M7	14,66	13,75	1,04
M8	16,76	15,33	1,75

Tabla 27. Distancias a las Fuentes Sonoras

A continuación, se presenta los valores medios de C_{80} y G obtenidos a partir de las medidas in situ, para bajas, medias y altas frecuencias, para cada uno de los puntos de medida y posición de fuente:

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C_{80} (dB) para F1		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	4,91	3,31	4,00	5,68
M2	1,88	7,26	7,45	10,08
M3	5,00	2,96	4,22	4,08
M4	5,66	1,88	4,12	4,65
M5	8,79	1,18	2,30	3,39
M6	11,11	0,27	2,02	3,12
M7	14,66	-1,16	0,01	2,36
M8	16,76	-1,75	-0,10	3,52

Tabla 28. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 1

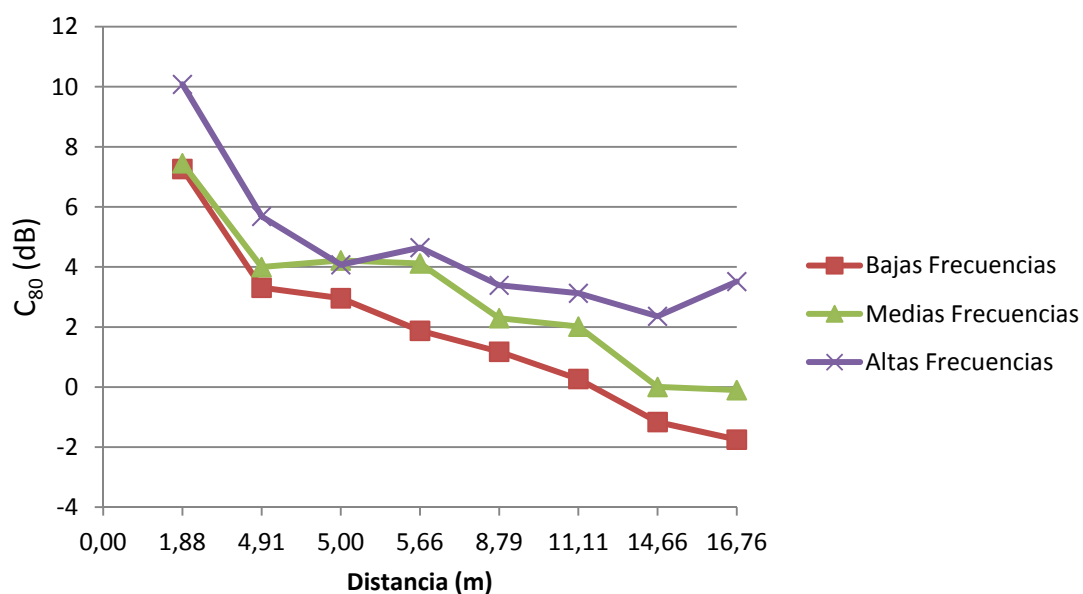


Figura 46. Comparativa de C_{80} para F1

Se aprecia una clara caída de los valores en función de la distancia. Se encuentran diferencias de hasta 9 dB, dentro de una misma banda y de hasta 6 dB entre bandas de frecuencias diferentes.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C_{80} (dB) para F2		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	-	-	-	-
M2	4,36	6,61	8,23	8,71
M3	9,22	2,65	5,84	6,49
M4	6,19	-0,02	4,27	3,76
M5	7,94	1,46	1,49	2,84
M6	10,87	0,18	-0,51	1,22
M7	13,75	-0,20	0,12	-0,15
M8	15,33	-2,02	-2,78	-0,23

Tabla 29. Valores de C_{80} obtenidos para la Fuente 2

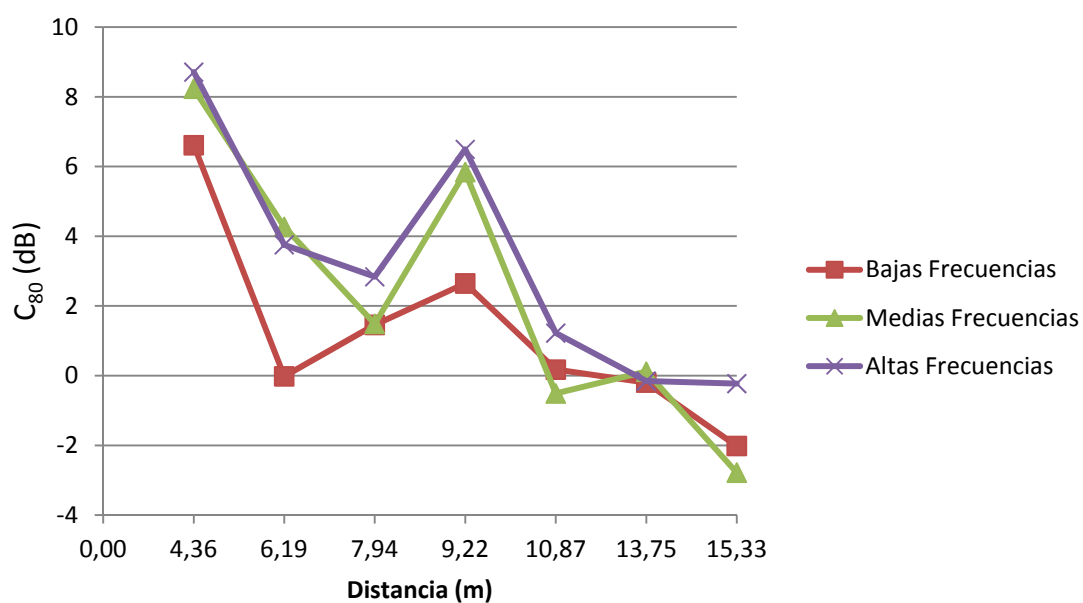


Figura 47. Comparativa de C₈₀ para F2

Para la Fuente 2, como se puede apreciar, no existe una caída lineal con el aumento de la distancia, apareciendo numerosos picos.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C ₈₀ (dB) para F3		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	14,69	-2,91	-1,27	0,22
M2	13,82	3,26	1,09	3,22
M3	14,49	-3,47	-1,98	-1,43
M4	10,00	1,49	1,23	3,84
M5	6,98	2,92	1,69	4,41
M6	4,69	6,35	4,20	5,30
M7	1,04	9,09	8,96	9,53
M8	1,75	7,51	6,80	8,01

Tabla 30. Valores de C₈₀ obtenidos para la Fuente 3

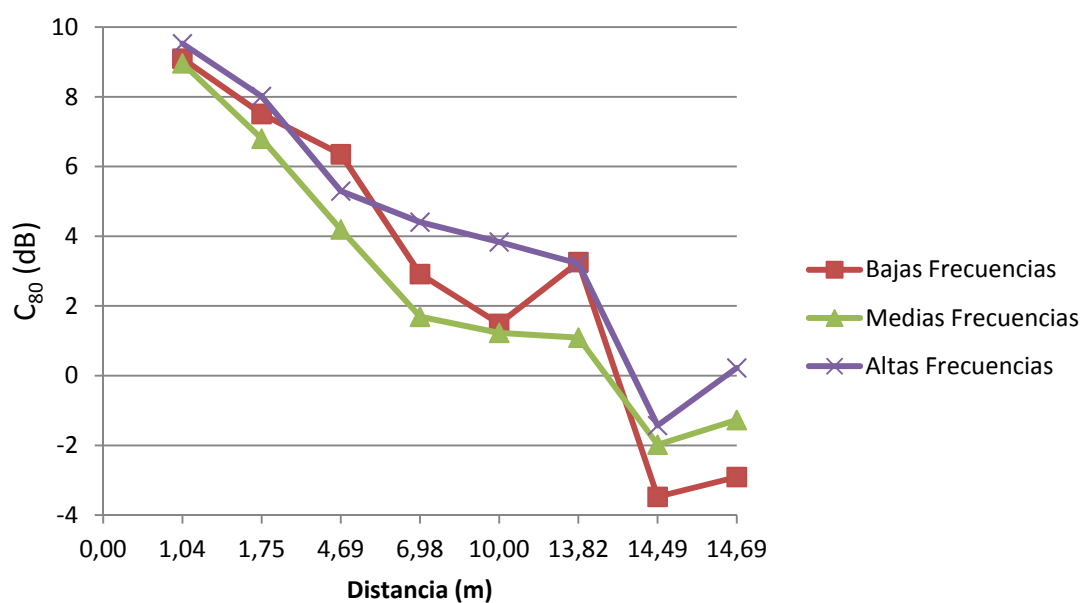


Figura 48. Comparativa de C₈₀ para F3

Se observa una caída más abrupta con el aumento de la distancia.

En general, se puede decir, que la claridad disminuye con la distancia y que para la banda de altas frecuencias los valores son mayores.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) para F1		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	4,91	10,67	13,64	12,66
M2	1,88	19,72	18,77	18,64
M3	5,00	8,59	13,06	11,57
M4	5,66	15,26	14,09	11,96
M5	8,79	9,85	10,89	9,67
M6	11,11	6,04	8,61	7,66
M7	14,66	7,16	7,94	6,27
M8	16,76	4,44	6,73	6,62

Tabla 31. Valores de G obtenidos para la Fuente 1

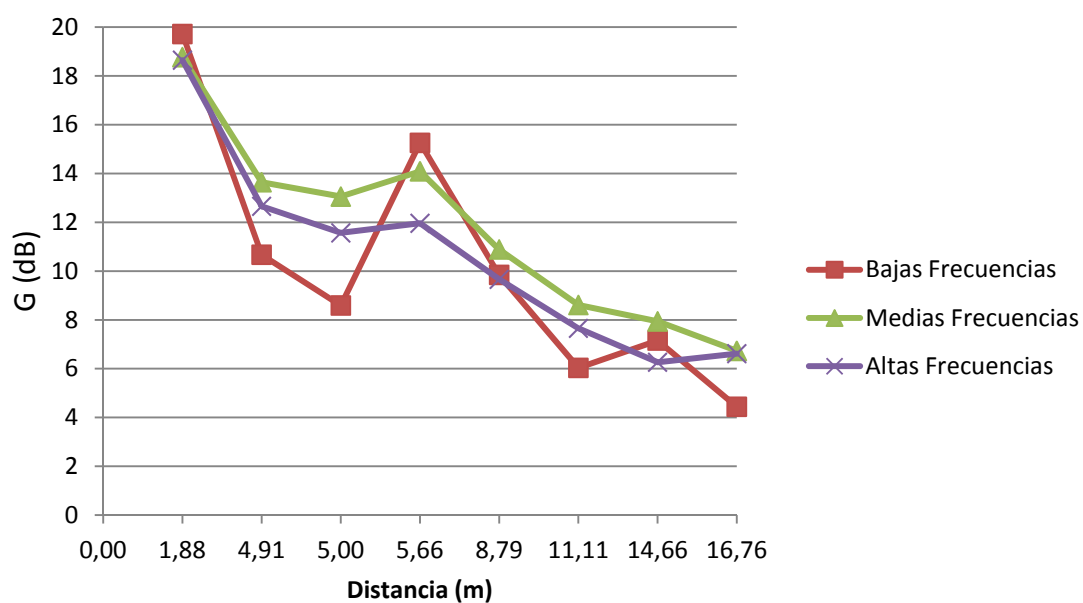


Figura 49. Comparativa de G para F1

De la gráfica se deduce una clara disminución de los valores en función de la distancia, dándose diferencias entre el punto más cercano y el más alejado de hasta 15 dB.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) para F2		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	-	-	-	-
M2	4,36	14,75	17,20	15,26
M3	9,22	11,70	11,78	10,18
M4	6,19	7,36	11,12	8,90
M5	7,94	6,28	7,93	5,79
M6	10,87	2,60	4,81	3,49
M7	13,75	2,71	4,75	2,04
M8	15,33	0,99	3,37	1,06

Tabla 32. Valores de G obtenidos para la Fuente 2

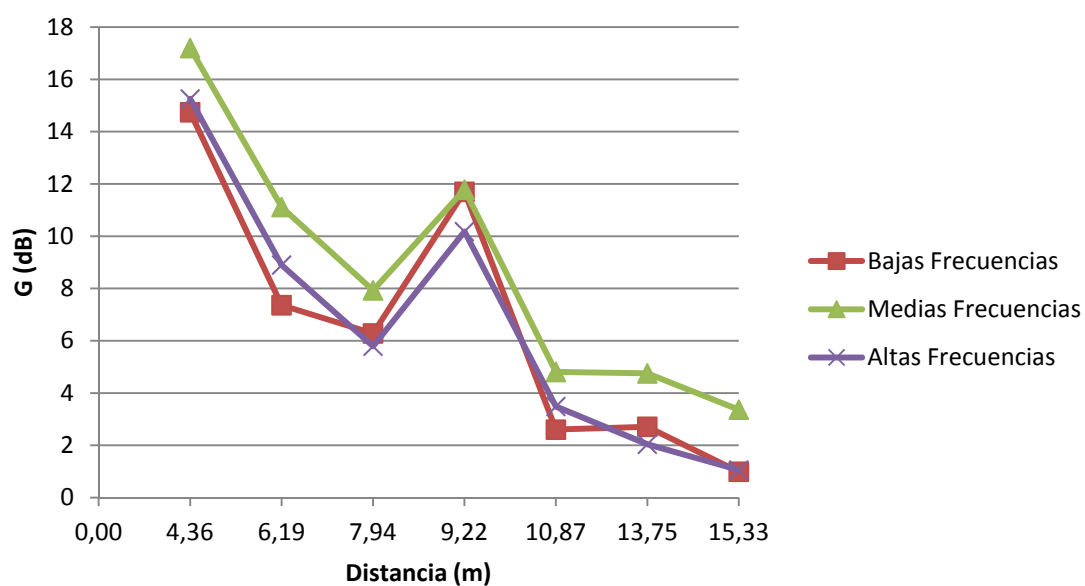


Figura 50. Comparativa de G para F2

Aunque los valores disminuyen con la distancia, lo hacen de forma más irregular, observándose un gran pico en todas las bandas de frecuencias.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	G (dB) para F3		
		Bajas Frecuencias	Medias Frecuencias	Altas Frecuencias
M1	14,69	2,15	4,17	1,15
M2	13,82	8,45	8,77	7,36
M3	14,49	0,64	3,40	0,82
M4	10,00	10,94	12,29	11,38
M5	6,98	12,01	13,68	12,88
M6	4,69	13,90	16,29	14,60
M7	1,04	19,94	21,27	20,05
M8	1,75	17,77	19,27	18,09

Tabla 33. Valores de G obtenidos para la Fuente 3

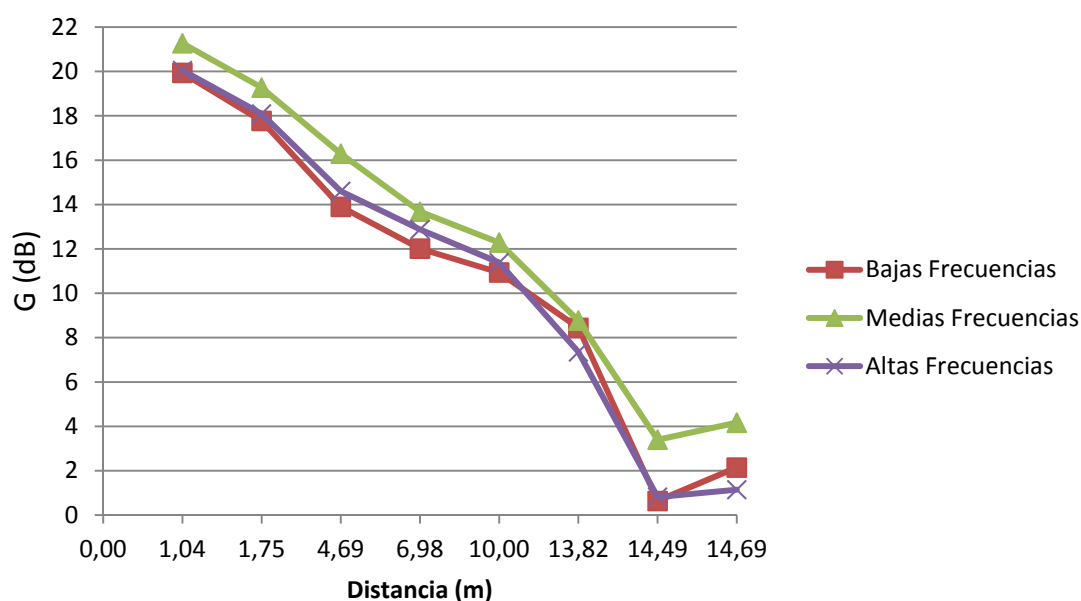


Figura 51. Comparativa de G para F3

En este caso, se parecía una caída más lineal, aunque se produce un ligero aumento en el punto más alejado, para las 3 bandas de frecuencias.

Se llegan a diferencias de casi 20 dB, entre los puntos con valores más dispares.

De forma global, se puede establecer que G disminuye con la distancia, al igual que C_{80} . Al contrario que para la claridad, la sonoridad encuentra, en este caso, en la banda de medias frecuencias, los valores más altos.

3.7. Observaciones

De los datos mostrados anteriormente, se puede observar que, tanto los valores de C_{80} , como los de G, tienden a disminuir con la distancia, si bien en algunos casos, esa disminución es más uniforme que en otros, en los que se produce una mayor fluctuación.

En general se mantiene que para los valores de C_{80} , los valores más altos se dan a frecuencias altas, mientras que los más bajos, se encuentran a bajas frecuencias.

Para G, sin embargo, nos encontramos con la situación contraria. Los valores para bajas frecuencias se mantienen en todo momento por encima de los valores a medias y altas frecuencias. Y lo mismo ocurre para las frecuencias altas, cuyos valores resultan ser los más bajos.

En todos los casos, los valores obtenidos con las mediciones se encuentran muy por encima de los valores óptimos recomendados.

4

Teorías de Propagación del Sonido

4.1. Descripción de las Teorías de Propagación del Sonido

En esta sección del trabajo se procederá a detallar las tres teorías que se van a estudiar como posibles modelos de propagación del sonido en este tipo de iglesias:

- Modelo Clásico
- Modelo de Barron y Lee
- Modelo μ

Estas teorías tratan ciertos parámetros acústicos basados en la energía monoaural, entre ellos la claridad y la fuerza sonora, todos estudiados como función de la distancia fuente-receptor. Estos parámetros son considerados muy relevantes para la evaluación de la calidad acústica basada en criterios de energía.

La complejidad del cálculo de ciertos parámetros, y especialmente del tiempo de reverberación, de los edificios religiosos reside en los diferentes volúmenes parciales que los configuran (capillas, bóvedas, naves laterales, coro y otros elementos arquitectónicos), que pueden estar sólo parcialmente acoplados al volumen principal y consecuentemente, las formulas clásicas no tienen correctamente en cuenta el balance de energía y los tiempos de reverberación.

Si la geometría no es muy compleja, entonces el efecto de acoplamiento puede ser despreciable en una primera aproximación. Predicciones de otros parámetros acústicos son notablemente más difíciles ya que estos son más sensibles a la posición que al tiempo de reverberación.

4.2. Modelo Clásico

De acuerdo con la teoría estadística de propagación del sonido en salas, si la absorción está distribuida uniformemente y el campo sonoro es difuso, entonces la densidad de energía instantánea reflejada normalizada $\epsilon'(t')$, tomando como referencia la densidad de energía integrada a 10m, viene dada por:

$$\epsilon'(t') = \frac{\epsilon(t)}{E_{D10}} = \frac{13,82 \cdot 31200}{V} e^{-\frac{13,82t'}{T}} (s^{-1}) \quad 0 \leq t' \leq \infty \quad (4)$$

donde $t'=0$ coincide con la emisión de sonido de la fuente, V es el volumen, T el tiempo de reverberación y $\epsilon'(t')$ se vuelve adimensional tras la integración.

Todos los parámetros acústicos basados en la energía pueden ser calculados usando la ecuación (4), y serán expresados como función de V , T y r siendo esta la distancia fuente-receptor. El sonido directo (d) y la energía total reflejada (ℓ_T) se dan por:

$$d = \frac{100}{r^2} \quad (5)$$

$$\ell_T = \int_0^\infty \epsilon'(\theta) d\theta = \frac{31200T}{V} \quad (6)$$

Por lo tanto la fuerza sonora puede ser expresada como:

$$G(r) = L_p - L_{p10} = 10 \log(d + \ell_T) = 10 \log\left(\frac{100}{r^2} + \frac{31200T}{V} (dB)\right) \quad (7)$$

Donde L_p es el nivel de presión sonora en un punto y L_{p10} es el nivel de presión sonora a 10m de la fuente.

$G(r)$ en la ecuación (7) depende de la distancia debido a la energía del sonido directo, pero no la energía total reflejada y por lo tanto, más allá de la distancia de reverberación, la fuerza del sonora es uniforme y tiende a $10 \log(31,00T/V)$ dB. Lo mismo ocurre con la claridad, que tienden hacia $10 \log(e^{1,11/T} - 1)$ dB:

$$C_{80} = 10 \log\left(\frac{100}{r^2} + 10 \log(e^{1,11/T} - 1) (dB)\right) \quad (8)$$

Sin embargo, medidas de datos experimentales muestran que esta teoría supone una sobre simplificación.

4.3. Modelo de Barron y Lee

Barron y Lee propusieron un modelo para tener en cuenta mayores variaciones de los parámetros acústicos observados en espacios reales. Se dieron cuenta de que la situación para las salas de conciertos difiere de los requerimientos difusos en varios aspectos.

Sin embargo, vieron que la caída del nivel sonoro era lineal poco después del sonido directo en la mayoría de las salas, lo que suponía una discrepancia con la disminución del nivel sonoro reflejado con el incremento de la distancia fuente-receptor.

Propusieron un modelo basado en las siguientes suposiciones. El sonido directo es seguido por una caída lineal del nivel, según el tiempo de reverberación. El tiempo $t=0$ corresponde al tiempo donde la señal es emitida por la fuente, por lo tanto el sonido directo alcanza un punto a una distancia r de la fuente tras un tiempo $t_D=r/c$. En este camino la energía integrada decrece cuando la distancia fuente-receptor se incrementa, mientras que el ratio de energía temprana/ tardía permanece constante. El valor integrado para el nivel de sonido reflejado supuesto en $t=0$ es igual al valor predicho por la teoría clásica.

La aplicación de la teoría revisada de Barron permite el cálculo de la energía relativa integrada desde un tiempo t al infinito. Para predecir el total del nivel de presión sonora y el índice de claridad, la energía del sonido se divide en tres componentes: el sonido directo (d), el sonido reflejado temprano (de 0 a 80ms) y el sonido reflejado tardío (de 80 ms al infinito). A partir de estas suposiciones definieron la fuerza sonora (G) y la claridad (C_{80}), de la siguiente manera:

$$G(r) = 10\log(d + E_0^{80} + E_{80}^{\infty}) \quad (9)$$

$$C_{80}(r) = 10\log\left(d + E_0^{80}/E_{80}^{\infty}\right) \quad (10)$$

Donde

$$E_0^{80}(r) = (31200T/V)e^{-0.04r/T}(1 - e^{-1.11/T}) \quad (11)$$

$$E_{80}^{\infty}(r) = (31200T/V)e^{-0.04r/T}e^{-1.11/T} \quad (12)$$

Siendo r , la distancia fuente-receptor.

Por lo que C_{80} y G quedan definidas por:

$$G(r) = 10\log\left(\frac{100}{r^2} + \frac{31200T}{V}e^{-\frac{0.04}{T}}\right) \quad (13)$$

$$C_{80}(r) = 10\log\left(\frac{Ve^{\frac{0.04r+1.11}{T}}}{312Tr^2} + e^{\frac{1.11}{T}} - 1\right) \quad (14)$$

Barron y Lee compararon valores medidos y predichos, proporcionando la idoneidad de la teoría revisada en varias salas de concierto. Remarcaron, sin embargo, que en presencia de techos altamente difusores el modelo tiende a sobre estimar la energía temprana.

4.4. Modelo de Barron y Lee Modificado (Método μ)

Partiendo del modelo de Barron y Lee, que asume que el sonido reflejado no puede llegar antes que el sonido directo, Sendra encontró imprecisiones prediciendo la acústica de las iglesias a través de este modelo, y propuso un modelo alternativo, conocido como el modelo β , el cual reduce la energía tanto de las reflexiones tempranas como tardías, proporcionalmente al coeficiente β que ficticiamente incrementa la distancia fuente - receptor. Sin embargo, este tratamiento uniforme conduce a una predicción mejorada de la precisión para la fuerza (G) pero no para la claridad (C80).

El Modelo μ , propuesto por Zamarreño, supone un incremento en la distancia ficticia (ahora representada por el coeficiente μ) sólo en las reflexiones tempranas (de 0 a 80ms). Esta suposición, apunta a mejorar la concordancia entre valores medidos y pronosticados.

El modelo μ requiere una regresión en los valores medidos de claridad (C80), para minimizar los errores entre la estimación y la predicción y maximizar la correlación. Las expresiones resultantes para calcular la fuerza sonora y claridad de acuerdo con el modelo son:

$$G_{\mu}(r) = 10 \log \left(\frac{100}{r^2} + \frac{31200T}{V} \left[e^{-\frac{\mu r}{T}} + e^{-\frac{1.11}{T}} \left(e^{-\frac{0.04r}{T}} - e^{-\frac{\mu r}{T}} \right) \right] \right) \quad (15)$$

$$C_{80\mu}(r) = 10 \log \left\{ \frac{\frac{100}{r^2} + 31200 \frac{T}{V} e^{-\frac{\mu r}{T}} (1 - e^{-1.11/T})}{31200 \frac{T}{V} e^{-\frac{1.11+0.04r}{T}}} \right\} \quad (16)$$

Siendo μ , un valor característico para cada iglesia. Este valor se obtiene minimizando el error rms entre los valores medidos y estimados para C_{80} a 1kHz como función de la distancia fuente-receptor.

Se observó que las variaciones de los valores de μ dentro de diferentes iglesias, sugieren que dados un volumen y un Tiempo de Reverberación, este parámetro podría tener en consideración las características geométricas y de los materiales de un espacio, y por lo tanto, podría representar diferentes aspectos de una iglesia.

Este factor crece con las dimensiones y la complejidad.

5

Cálculos y Resultados

5.1. Cálculos realizados para cada una de las Iglesias

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada una de las iglesias, de forma comparativa con respecto a los valores obtenidos durante las mediciones in situ.

Los valores de T30, del volumen y μ , han sido facilitados por el Laboratorio de Acústica Arquitectónica de la Escuela Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.

5.1.1. Iglesia de San Cebrián de Mazote

En el caso de San Cebrián, se midió un volumen de 2700 m^3 , un μ de 0,19 y un T30 para cada banda de frecuencia con los siguientes valores:

- 3,12 s para la banda de Bajas Frecuencias.
- 2,81 s para la banda de Medias Frecuencias.
- 2,04 s para la banda de Altas Frecuencias.

A partir de estos valores y las distancias a los puntos de medida, se han calculado los valores de C80 y G para cada posición de micrófono, con cada una de las fuentes. Este proceso se ha repetido para bajas, medias y altas frecuencias.

5.1.1.1. Valores calculados para C_{80}

Fuente 1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,06	0,35	8,12	-1,67	-2,18
M3	6,06	-5,62	4,98	-2,64	-3,60
M4	6,06	-6,16	4,98	-2,64	-3,60
M5	9,62	-4,09	1,79	-3,22	-4,98
M6	10,47	-8,33	1,27	-3,28	-5,23
M7	10,47	-8,92	1,27	-3,28	-5,23
M8	13,75	-5,13	-0,19	-3,44	-6,09
M9	14,47	-4,64	-0,43	-3,46	-6,27
M10	14,47	-8,41	-0,43	-3,46	-6,27
M11	18,05	-6,84	-1,34	-3,53	-7,10
M12	18,14	-7,00	-1,35	-3,53	-7,12
M13	18,60	-7,30	-1,44	-3,54	-7,23
M14	18,60	-6,50	-1,44	-3,54	-7,23
M15	22,05	-5,99	-1,98	-3,58	-7,99

Tabla 34. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1

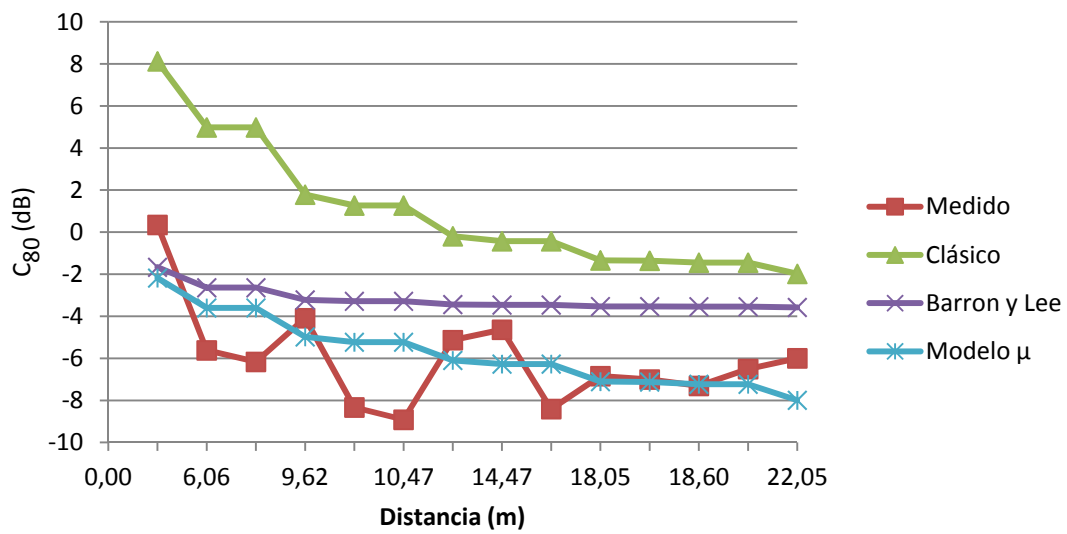


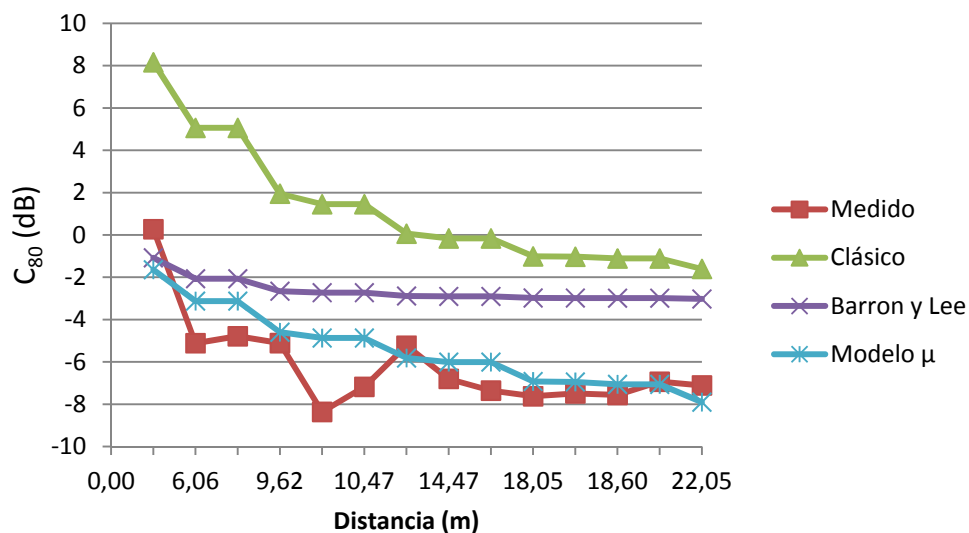
Figura 52. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F1

Como se puede deducir de la figura anterior, las 3 teorías siguen la misma tendencia descendente con el aumento de la distancia al igual que lo hacen los valores medidos. Aunque estos últimos, lo hacen de una forma menos uniforme, apareciendo más picos. Las tres teorías se alejan bastante de los valores empíricos, siendo el Modelo Clásico, el lo que hace con mayor diferencia, llegando a diferencias de hasta 8dB.

Los valores calculados a partir del Modelo μ , son los que más se aproximan con un diferencia máxima de 3,69 dB en el punto M7 y una mínima de 0,08 dB en el punto M13

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,06	0,27	8,16	-1,08	-1,64
M3	6,06	-5,12	5,06	-2,07	-3,12
M4	6,06	-4,79	5,06	-2,07	-3,12
M5	9,62	-5,11	1,95	-2,66	-4,59
M6	10,47	-8,36	1,45	-2,72	-4,87
M7	10,47	-7,18	1,45	-2,72	-4,87
M8	13,75	-5,23	0,06	-2,88	-5,81
M9	14,47	-6,80	-0,16	-2,90	-6,01
M10	14,47	-7,36	-0,16	-2,90	-6,01
M11	18,05	-7,62	-1,01	-2,98	-6,92
M12	18,14	-7,49	-1,03	-2,98	-6,94
M13	18,60	-7,56	-1,11	-2,99	-7,06
M14	18,60	-6,94	-1,11	-2,99	-7,06
M15	22,05	-7,11	-1,60	-3,02	-7,90

Tabla 35. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1

Figura 53. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F1

De nuevo, los valores para las 3 teorías decrecen con el aumento de la distancia a la fuente, al igual que lo hacen los valores medidos.

Igualmente, estos últimos, lo hacen de una forma menos uniforme, apareciendo más fluctuación.

Los valores calculados a partir del Modelo μ , son los que más se aproximan con un diferencia máxima de 3,49 dB en el punto M6 y una mínima de 0,13 dB en el punto M14.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,06	2,06	8,32	0,80	0,07
M3	6,06	-2,73	5,37	-0,24	-1,63
M4	6,06	-2,68	5,37	-0,24	-1,63
M5	9,62	-2,12	2,56	-0,87	-3,45
M6	10,47	-4,50	2,14	-0,94	-3,80
M7	10,47	-3,96	2,14	-0,94	-3,80
M8	13,75	-2,22	0,98	-1,11	-5,04
M9	14,47	-3,47	0,79	-1,14	-5,29
M10	14,47	-3,98	0,79	-1,14	-5,29
M11	18,05	-2,88	0,13	-1,22	-6,50
M12	18,14	-3,28	0,12	-1,22	-6,53
M13	18,60	-4,17	0,05	-1,23	-6,69
M14	18,60	-4,07	0,05	-1,23	-6,69
M15	22,05	-3,02	-0,32	-1,27	-7,80

Tabla 36. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1

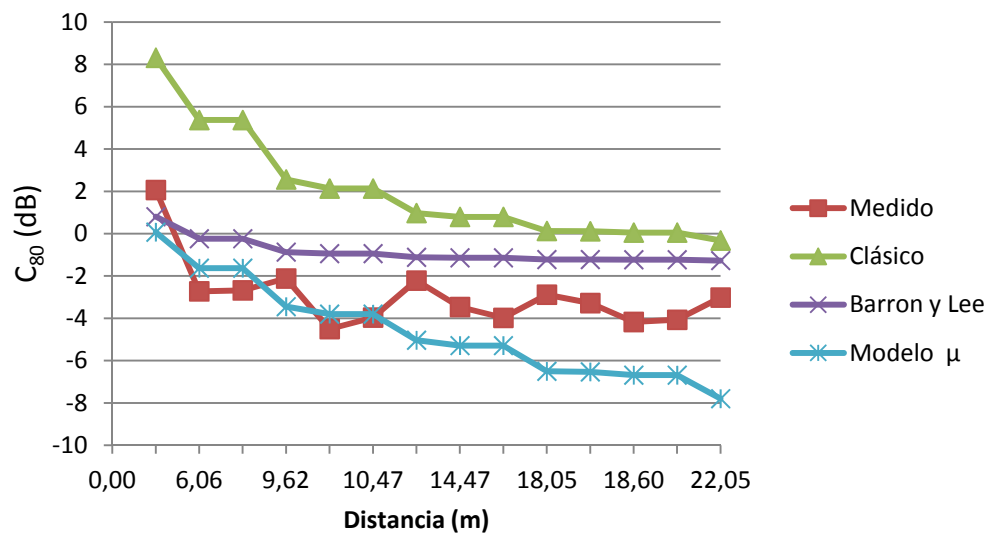


Figura 54. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F1

Como se puede observar, los valores para las 3 teorías decrecen con el aumento de la distancia a la fuente, al igual que lo hacen los valores medidos.

En este caso el Modelo μ , se aleja más de los valores experimentales, que en el caso de las frecuencias bajas y medias, con una diferencia máxima de 4,78 dB en el punto M15 y una mínima de 0,16 en M7.

En términos generales, los valores para altas frecuencias se mueven en un rango de valores algo más elevados, que para bajas y medias, cuyo rango es prácticamente igual.

Por otro lado, los valores del Modelo μ , son los que más se aproximan a los valores medidos, seguidos de los calculados a partir del modelo de Barron y Lee.

Fuente 2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,44	-3,53	5,81	-2,43	-3,25
M2	4,51	1,81	7,28	-1,97	-2,59
M3	9,00	-4,12	2,20	-3,16	-4,78
M4	-	-	-	-	-
M5	8,27	-5,86	2,77	-3,07	-4,53
M6	10,50	-2,96	1,26	-3,29	-5,24
M7	5,41	-1,32	5,85	-2,41	-3,23
M8	10,70	-3,18	1,15	-3,30	-5,29
M9	9,70	-3,66	1,73	-3,23	-5,00
M10	13,24	-5,58	0,00	-3,42	-5,97
M11	14,71	-5,44	-0,50	-3,47	-6,33
M12	14,27	-4,08	-0,37	-3,45	-6,22
M13	14,00	-3,43	-0,28	-3,45	-6,16
M14	16,65	-2,50	-1,03	-3,51	-6,78
M15	18,56	-6,13	-1,44	-3,54	-7,22

Tabla 37. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2

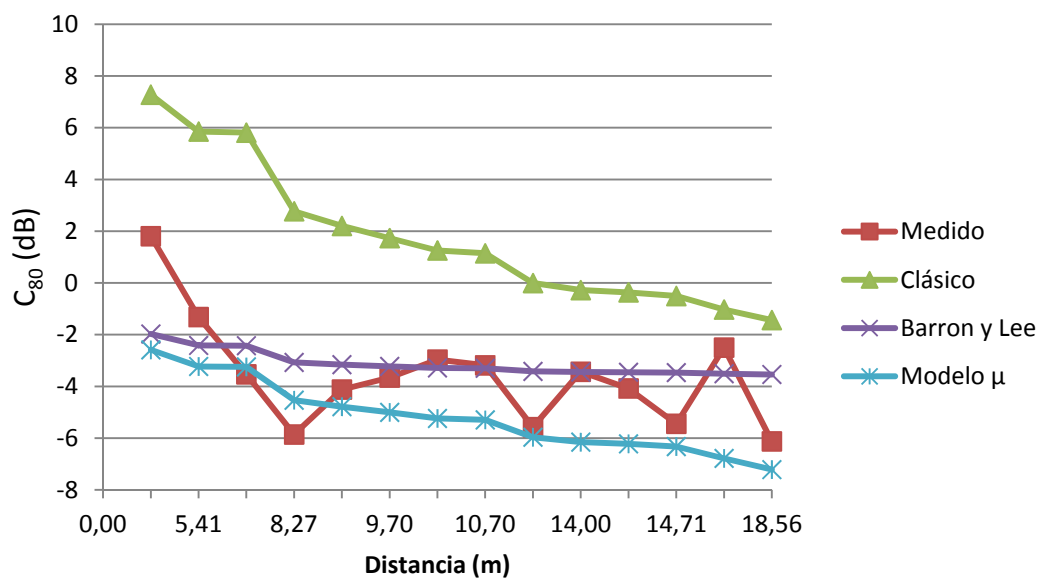


Figura 55. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F2

Como se puede deducir de la figura anterior, las 3 teorías siguen la misma tendencia descendente con el aumento de la distancia, y de manera uniforme, mientras que los valores medidos fluctúan más.

El Modelo Clásico, es el que se aleja de forma más significativa de los valores reales, siendo la diferencia mínima de 1,5dB.

Los valores calculados a partir del de Barron y Lee y el Modelo μ , son los que más se aproximan con una diferencia máxima de 3,78 dB, en el primer caso y de 4,39 dB, en el segundo, para el punto M2 y una mínima de 0,01 dB en el punto M13 y 0,29 dB en M1, respectivamente.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,44	-2,28	5,88	-1,85	-2,75
M2	4,51	-0,84	7,33	-1,39	-2,06
M3	9	-2,29	2,35	-2,60	-4,39
M4	-	-	-	-	-
M5	8,27	-4,64	2,90	-2,51	-4,12
M6	10,5	-4,64	1,44	-2,73	-4,88
M7	5,41	-0,48	5,92	-1,84	-2,73
M8	10,7	-6,31	1,33	-2,74	-4,94
M9	9,7	-3,96	1,90	-2,67	-4,62
M10	13,24	-6,36	0,24	-2,86	-5,67
M11	14,71	-7,25	-0,23	-2,91	-6,07
M12	14,27	-5,79	-0,10	-2,90	-5,95
M13	14	-3,22	-0,02	-2,89	-5,88
M14	16,65	-5,97	-0,72	-2,95	-6,57
M15	18,56	-8,23	-1,10	-2,99	-7,05

Tabla 38. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2

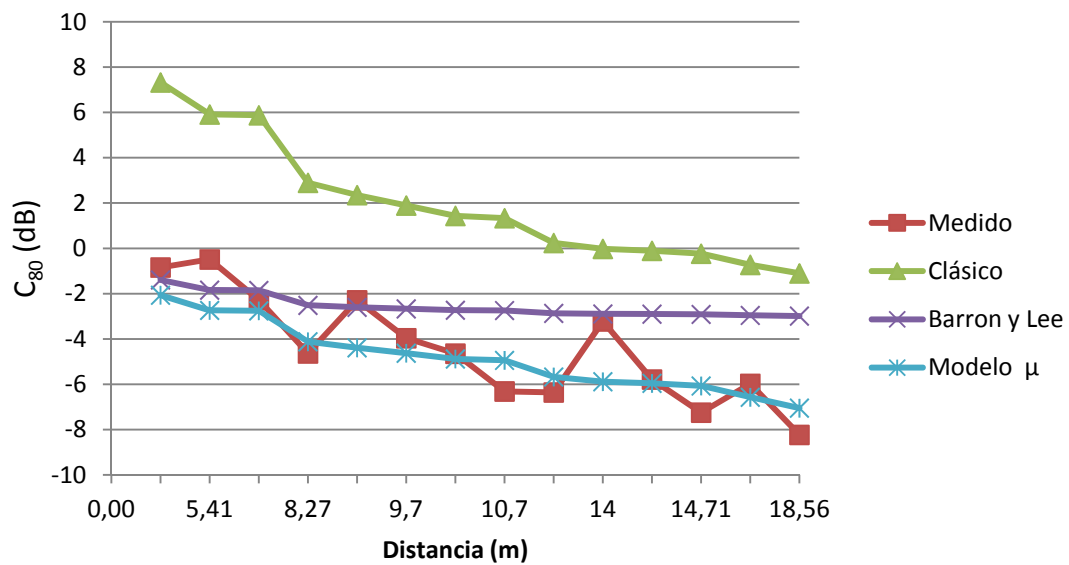


Figura 56. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F2

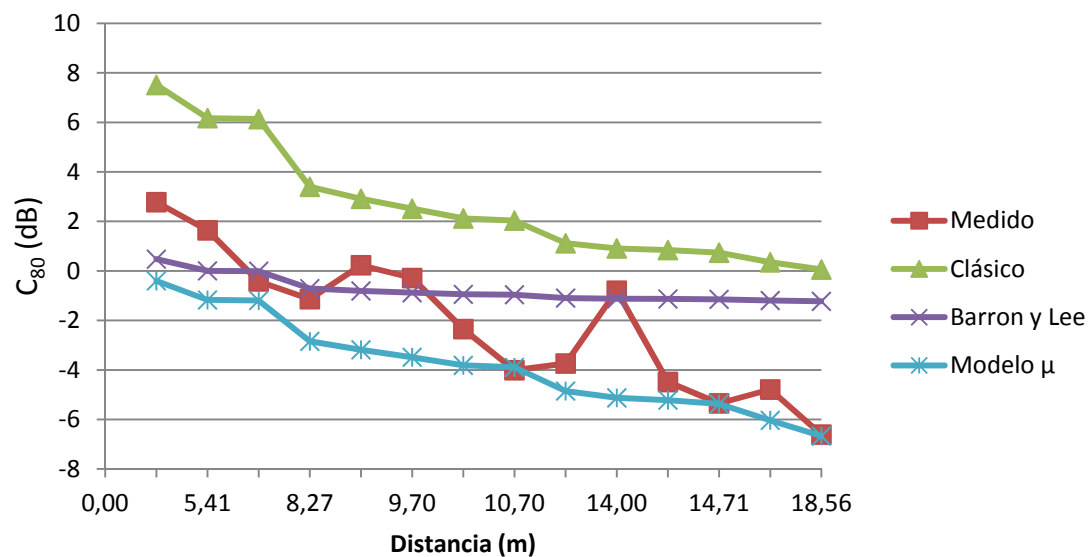
De nuevo, los valores para las 3 teorías decrecen con el aumento de la distancia a la fuente, al igual que lo hacen los valores medidos.

Igualmente, estos últimos, lo hacen de una forma menos uniforme, apareciendo más fluctuación.

Los valores calculados a partir del Modelo μ , son los que más se aproximan con un diferencia máxima de 2,66 dB en el punto M13 y una mínima de 0,17 dB en el punto M12.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,44	-0,42	6,14	-0,01	-1,19
M2	4,51	2,78	7,51	0,48	-0,40
M3	9,00	0,23	2,91	-0,81	-3,18
M4	-	-	-	-	-
M5	8,27	-1,14	3,40	-0,71	-2,84
M6	10,50	-2,35	2,12	-0,94	-3,81
M7	5,41	1,64	6,17	0,00	-1,17
M8	10,70	-4,01	2,03	-0,96	-3,89
M9	9,70	-0,28	2,52	-0,88	-3,49
M10	13,24	-3,74	1,12	-1,09	-4,85
M11	14,71	-5,35	0,74	-1,15	-5,37
M12	14,27	-4,49	0,84	-1,13	-5,22
M13	14,00	-0,80	0,91	-1,12	-5,12
M14	16,65	-4,79	0,35	-1,19	-6,03
M15	18,56	-6,61	0,06	-1,23	-6,67

Tabla 39. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2

Figura 57. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F2

Como se puede observar, a altas frecuencias, los valores calculados a partir del Modelo μ , se asemejan más a los valores experimentales. Con una diferencia máxima de 4,33 dB en el punto M13 y una mínima de 0,02 dB en el punto M11.

El modelo de Barron y Lee, se aproxima cuando la distancia a la fuente es pequeña, pero la diferencia se va incrementando a medida que aumenta la distancia.

En términos generales, los valores para altas frecuencias se mueven en un rango de valores algo más elevados, que para bajas y medias.

Como se puede observar, para la Fuente 2 ocurre exactamente lo mismo que para la Fuente 1, los valores del Modelo μ , son los que más se aproximan a los valores medidos, en todas las bandas de frecuencia, siendo el Modelo Clásico el que más se aleja.

Fuente 3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	21,05	-4,00	-1,85	-3,57	-7,77
M2	18,00	-3,35	-1,33	-3,53	-7,09
M3	18,56	-7,10	-1,44	-3,54	-7,22
M4	18,56	-5,35	-1,44	-3,54	-7,22
M5	12,72	-5,58	0,19	-3,40	-5,84
M6	13,38	-3,75	-0,06	-3,43	-6,00
M7	13,38	-4,53	-0,06	-3,43	-6,00
M8	8,31	-4,38	2,74	-3,08	-4,55
M9	9,45	-2,54	1,90	-3,20	-4,92
M10	9,45	-4,19	1,90	-3,20	-4,92
M11	4,01	-2,27	8,22	-1,63	-2,13
M12	4,38	-2,43	7,52	-1,89	-2,47
M13	6,03	-4,43	5,02	-2,63	-3,58
M14	6,03	-5,44	5,02	-2,63	-3,58
M15	-	-	-	-	-

Tabla 40. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3

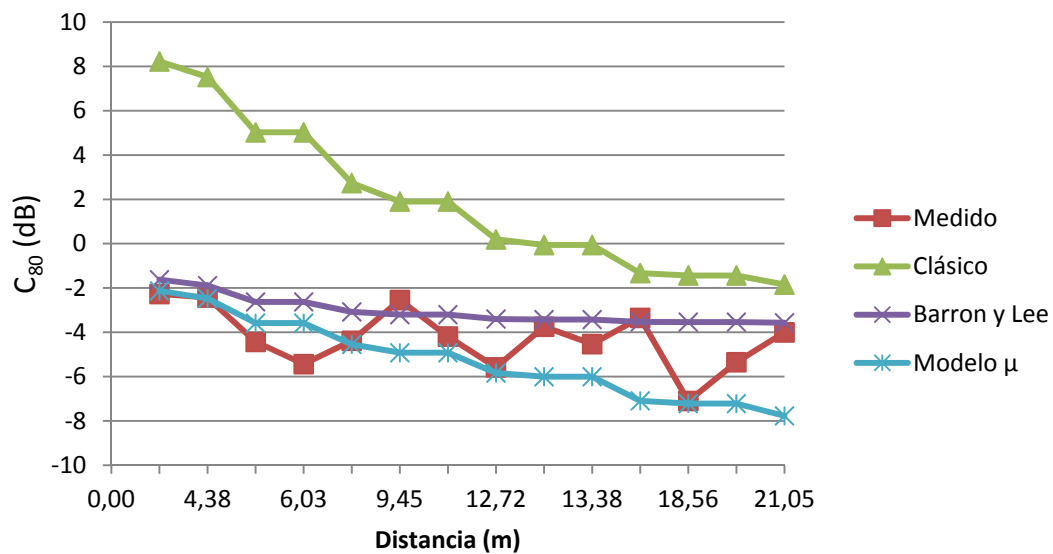


Figura 58. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F3

Como se observa, los valores para las 3 teorías decrecen con el aumento de la distancia.

Al igual que ocurría con el resto de fuentes, el Modelo Clásico, es el que se aleja de forma más significativa de los valores reales, siendo la diferencia mínima de 1,72 dB.

Los valores calculados a partir del de Barron y Lee y el Modelo μ , son los que más se aproximan con un diferencia máxima de 3,56 dB en el punto M3, en el primer caso y de 3,75 dB en el punto M2, en el segundo, y una mínima de 0,18 dB en el punto M2 y 0,04 dB en M4, respectivamente.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	21,05	-8,37	-1,48	-3,02	-7,66
M2	18,00	-6,68	-1,00	-2,98	-6,91
M3	18,56	-8,25	-1,10	-2,99	-7,05
M4	18,56	-7,91	-1,10	-2,99	-7,05
M5	12,72	-5,26	0,43	-2,85	-5,53
M6	13,38	-5,98	0,19	-2,87	-5,71
M7	13,38	-5,84	0,19	-2,87	-5,71
M8	8,31	-3,35	2,87	-2,52	-4,13
M9	9,45	-4,40	2,06	-2,64	-4,54
M10	9,45	-4,74	2,06	-2,64	-4,54
M11	4,01	0,70	8,26	-1,04	-1,59
M12	4,38	-0,28	7,56	-1,31	-1,95
M13	6,03	-5,51	5,10	-2,06	-3,11
M14	6,03	-5,25	5,10	-2,06	-3,11
M15	-	-	-	-	-

Tabla 41. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3

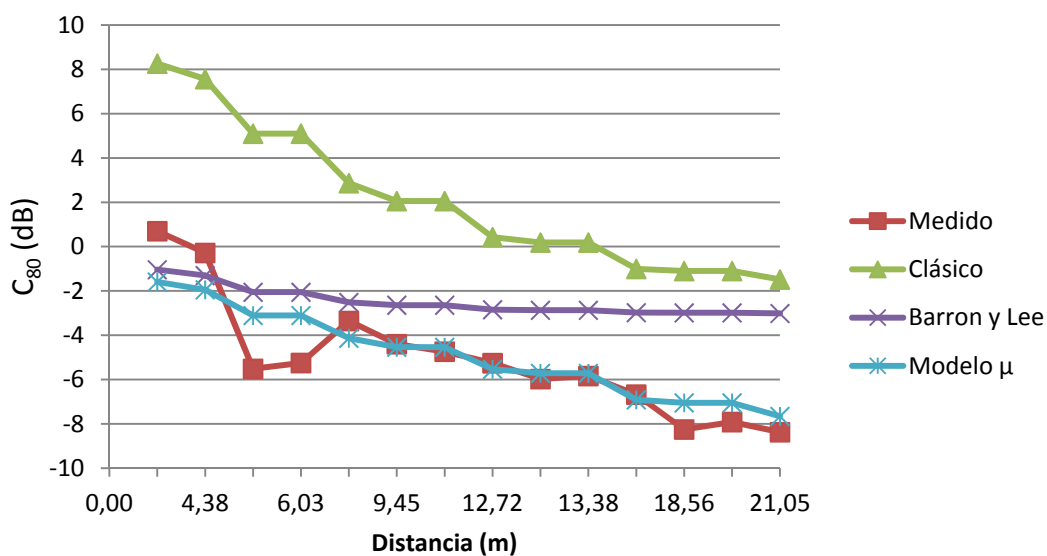


Figura 59. Comparativa de C80 a Medias Frecuencias para F3

Destaca la proximidad de los valores obtenidos mediante el Modelo μ , con respecto a los valores experimentales, con un diferencia máxima de 2,41 dB en el punto M13 y una mínima de 0,13 dB en el punto M7.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	21,05	-4,33	-0,23	-1,26	-7,48
M2	18,00	-3,58	0,14	-1,22	-6,49
M3	18,56	-5,03	0,06	-1,23	-6,67
M4	18,56	-6,03	0,06	-1,23	-6,67
M5	12,72	-1,50	1,27	-1,07	-4,66
M6	13,38	-3,14	1,08	-1,10	-4,90
M7	13,38	-2,78	1,08	-1,10	-4,90
M8	8,31	-1,71	3,37	-0,72	-2,86
M9	9,45	-2,76	2,66	-0,85	-3,38
M10	9,45	-2,57	2,66	-0,85	-3,38
M11	4,01	1,52	8,41	0,84	0,13
M12	4,38	1,16	7,74	0,56	-0,27
M13	6,03	-3,12	5,41	-0,23	-1,61
M14	6,03	-3,31	5,41	-0,23	-1,61
M15	-	-	-	-	-

Tabla 42. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3

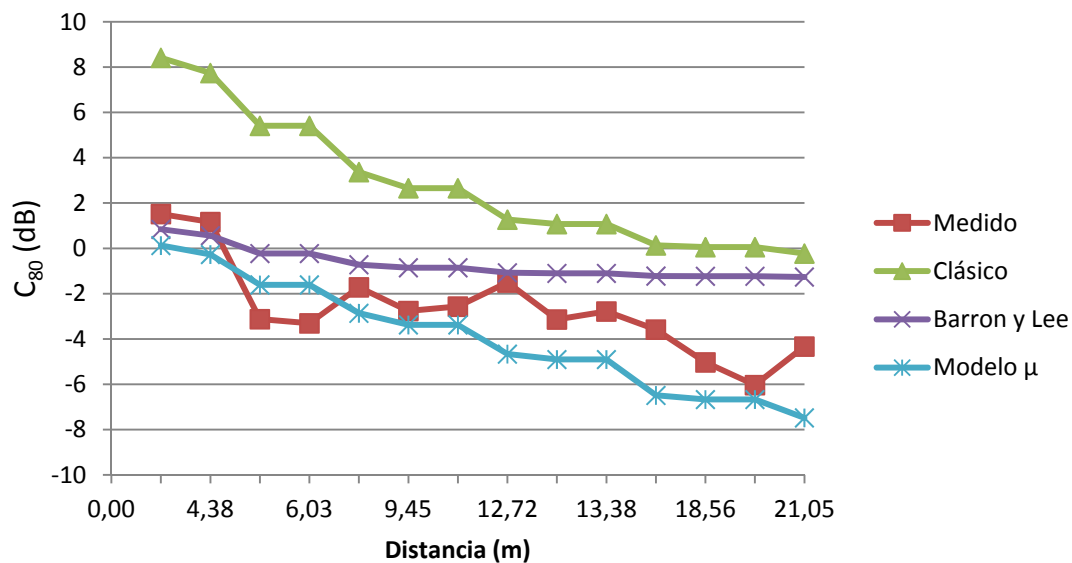


Figura 60. Comparativa de C80 a Altas Frecuencias para F3

Como se puede observar, a altas frecuencias, los valores calculados a partir del Modelo μ , se asemejan más a los valores medidos. La diferencia máxima se encuentra para el punto M1, el más alejado, siendo de 3,15 dB. Por otro lado, el punto donde se encuentra la diferencia mínima es el M9, siendo de 0,62 dB.

El modelo de Barron y Lee, se aproxima cuando la distancia a la fuente es pequeña, pero la diferencia se va a incrementando a medida que aumenta la distancia.

A continuación, en las siguientes figuras se muestra el plano de planta de la iglesia, con los valores diferenciales para cada una de las teorías en relación a los medidos, clasificados en rangos de valores, que se representan mediante el siguiente código de colores:

- En el caso de C80, los puntos de medida se representarán según la siguiente codificación de colores, según el rango en el que se encuentre la diferencia del valor calculado con respecto al valor medido:
 - Por debajo de 2dB, se representa en verde
 - Entre 2dB y 4dB, se representa en naranja
 - Por encima de los 4dB, se representa en rojo

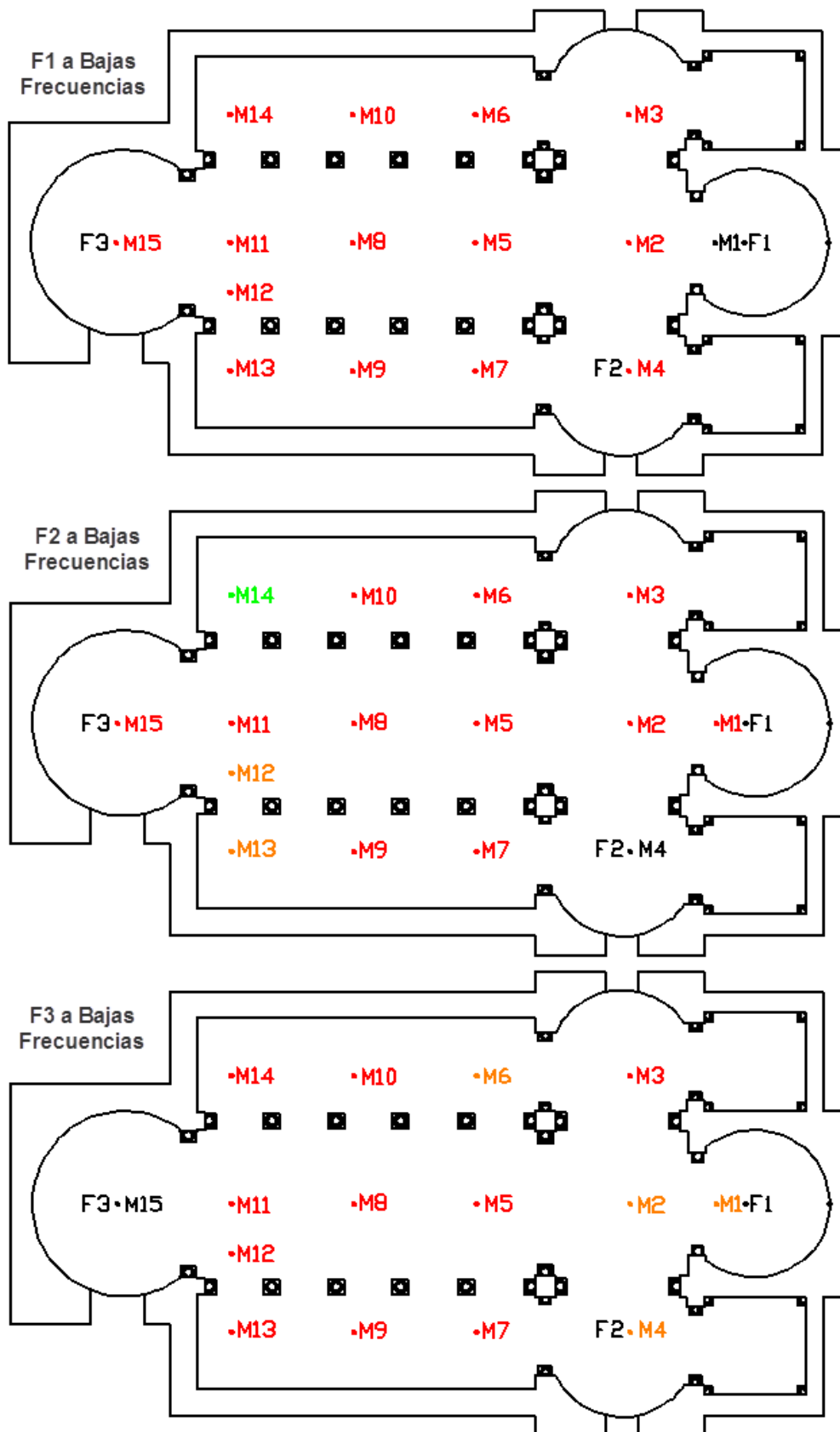


Figura 61. Diferencia para C_{80} a Bajas Frecuencias para el Modelo Clásico

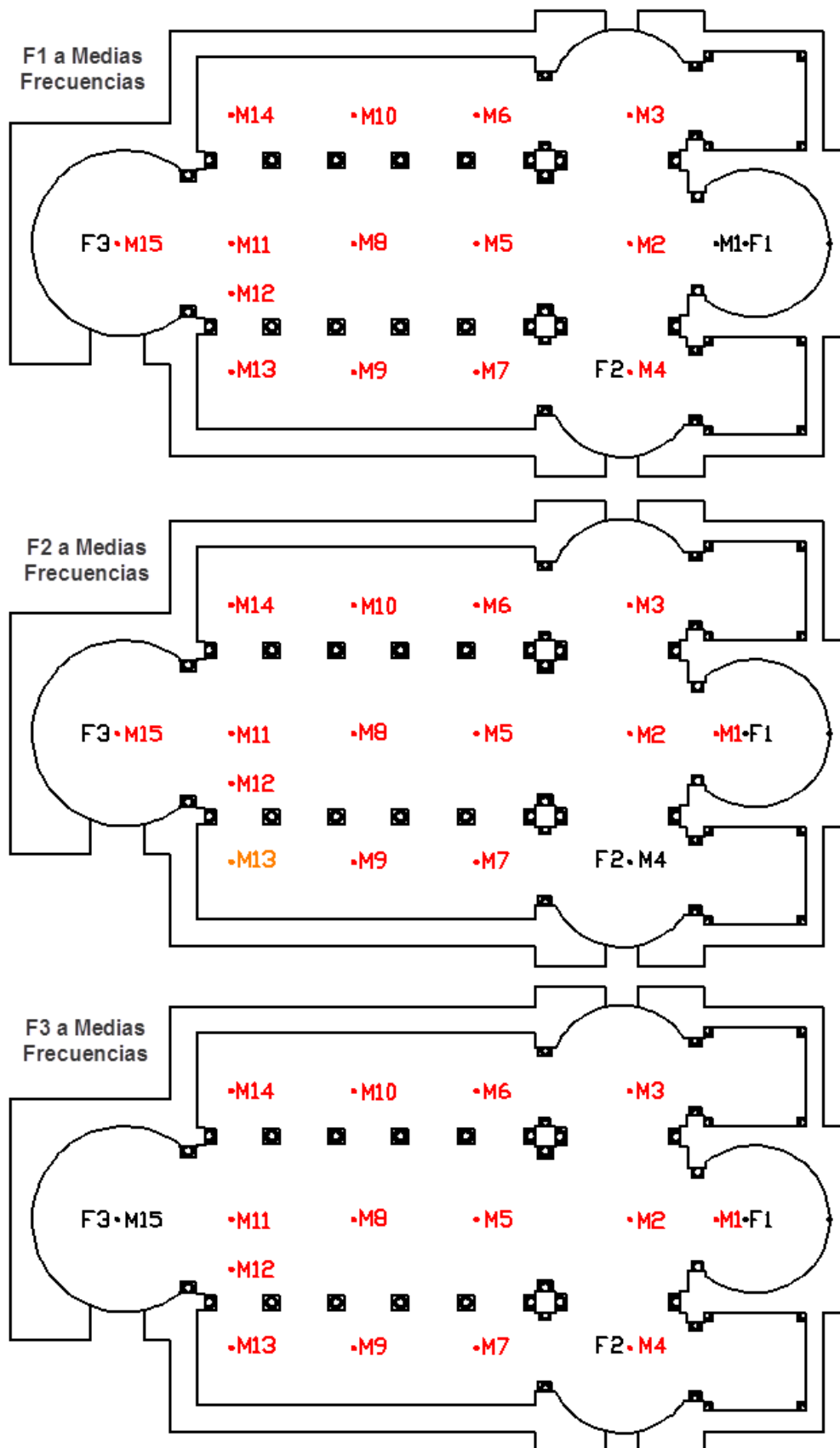


Figura 62. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias para el Modelo Clásico

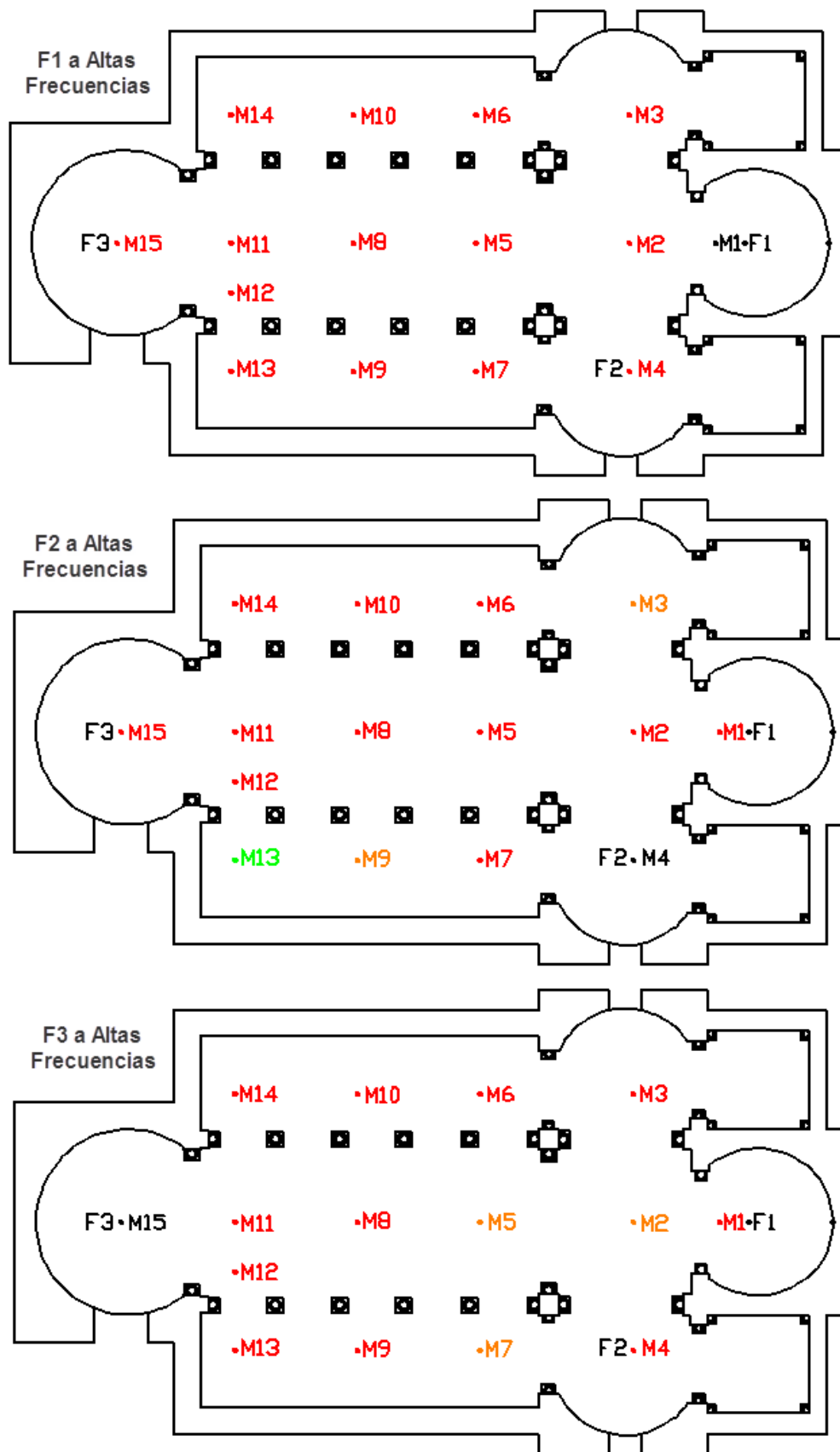


Figura 63. Diferencia para C_{80} a Altas Frecuencias para el Modelo Clásico

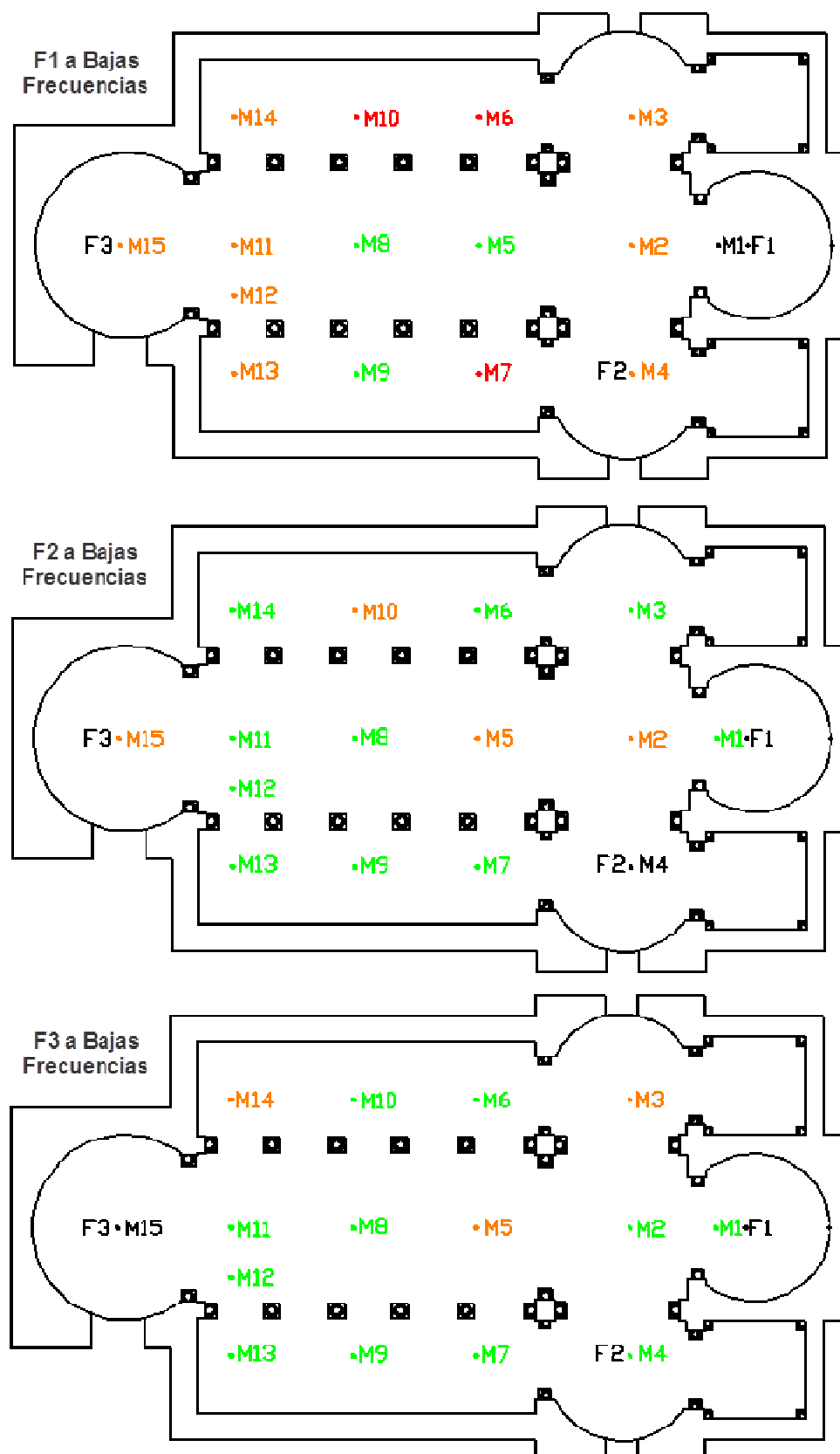


Figura 64. Diferencia para C_{80} a Bajas Frecuencias para Modelo de Barron y Lee

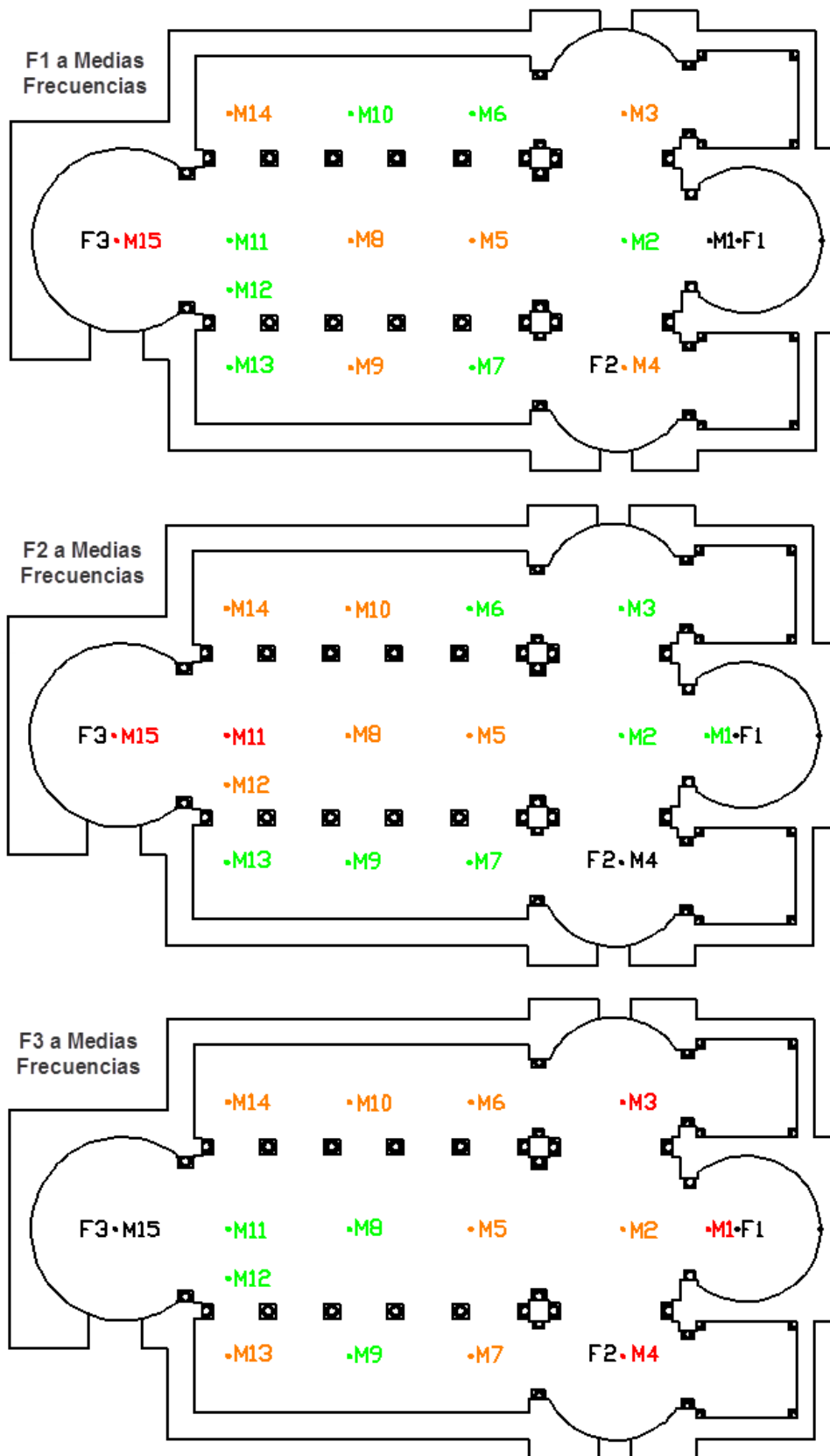


Figura 65. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias para Modelo de Barron y Lee

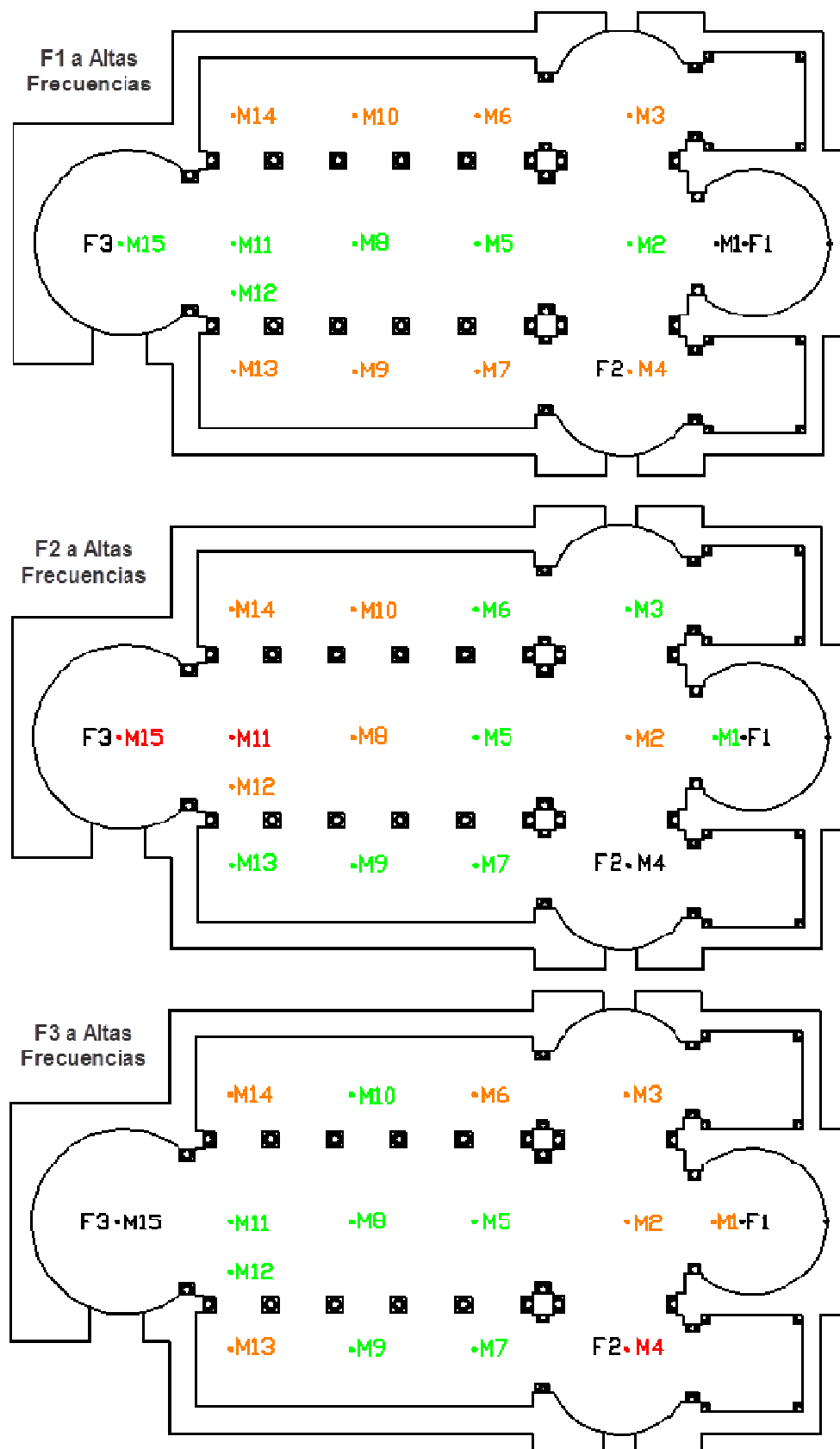


Figura 66. Diferencia para C_{80} a Altas Frecuencias para Modelo de Barron y Lee

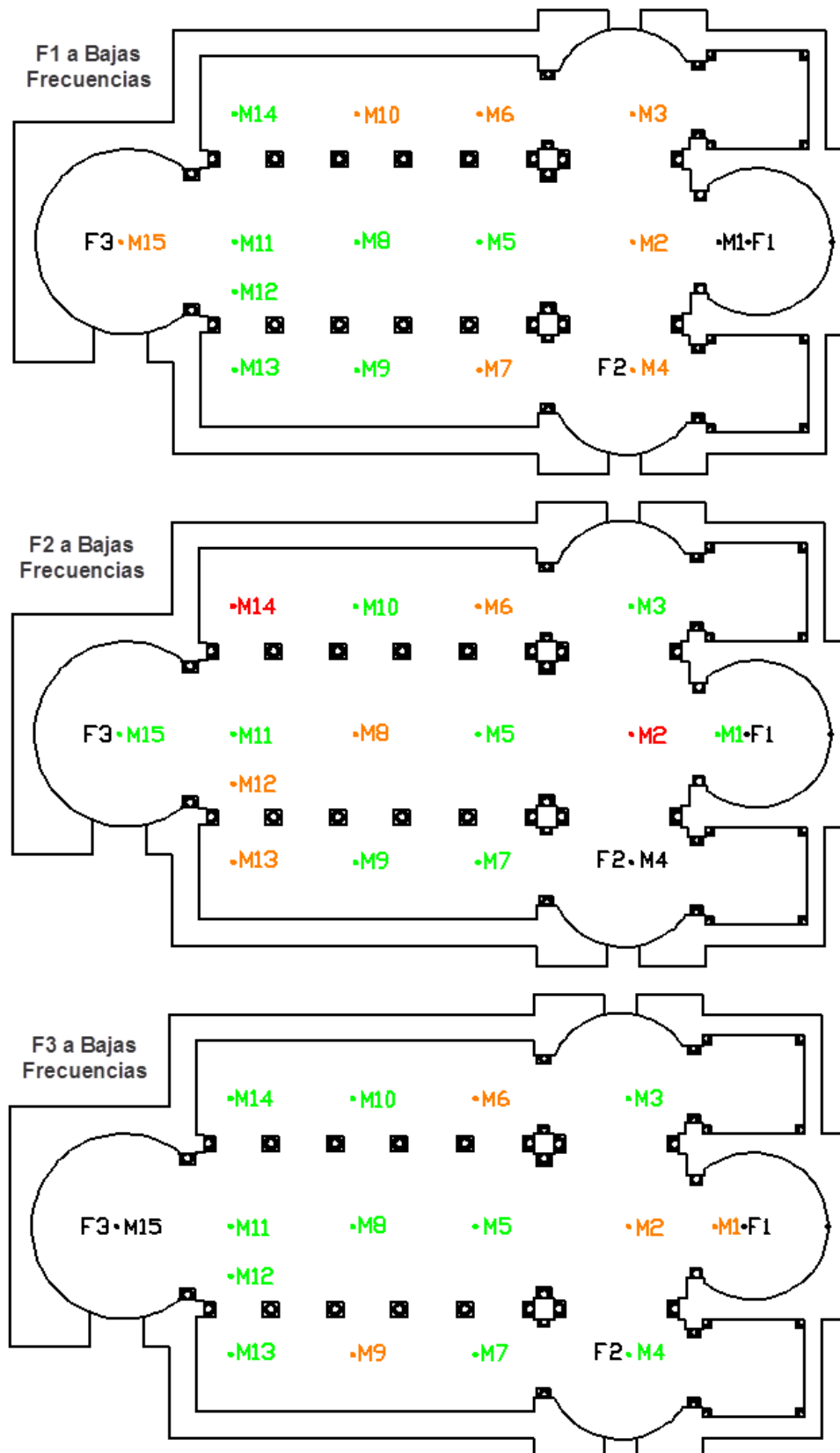


Figura 67. Diferencia para C_{80} a Bajas Frecuencias para el Modelo μ

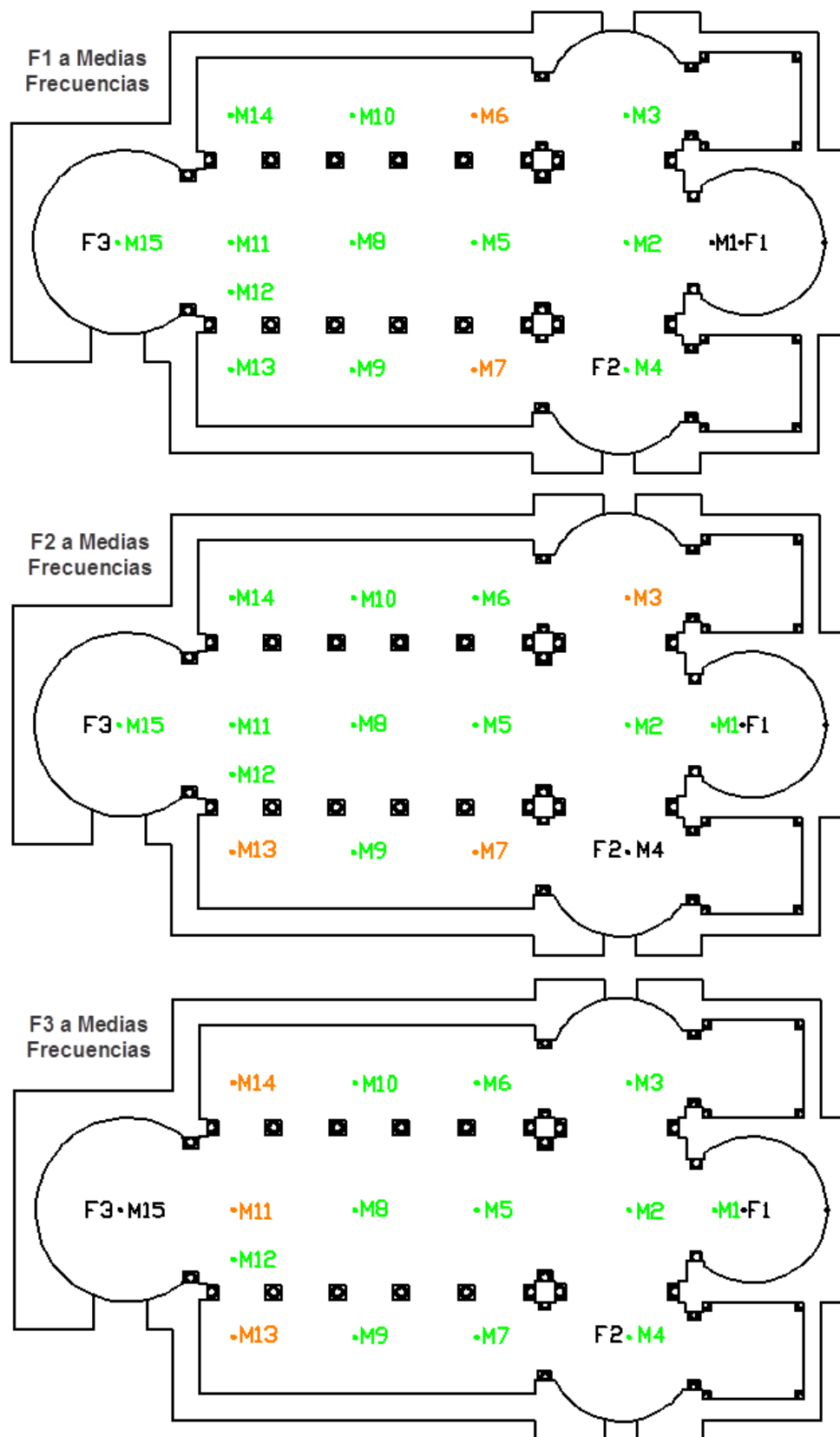


Figura 68. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias para el Modelo μ

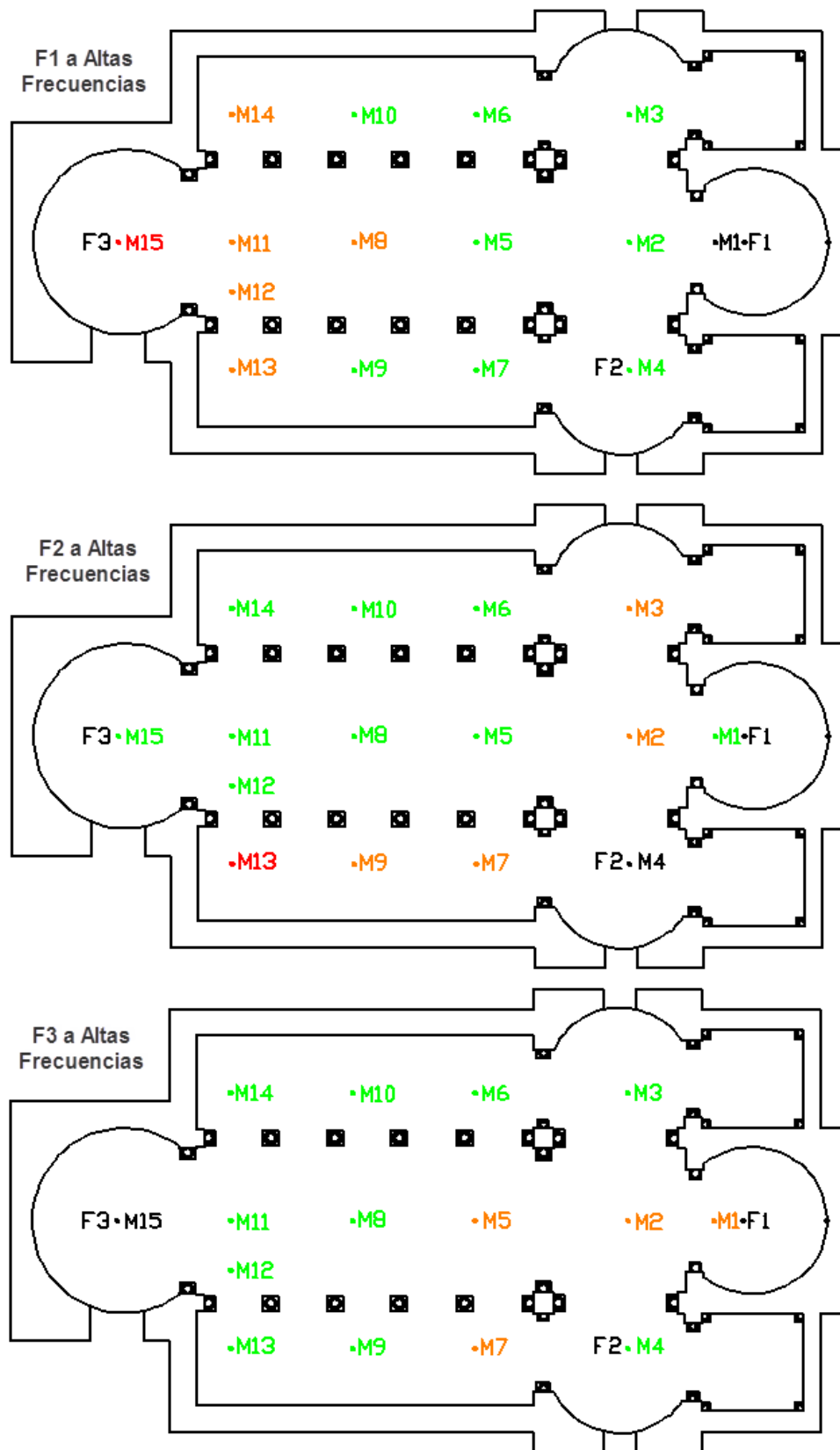


Figura 69. Diferencia para C_{80} a Altas Frecuencias para el Modelo μ

5.1.1.1.1. Conclusiones para C_{80}

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, decrecen con el aumento de la distancia, si bien esta pendiente es más marcada en los valores del Modelo Clásico.

En términos generales, los valores para altas frecuencias se mueven en un rango de valores algo más elevados, que para bajas y medias frecuencias.

Como se puede observar, los valores del Modelo μ , son los que más se aproximan a los valores medidos, en todas las bandas de frecuencia, siendo el Modelo Clásico el que más se aleja.

Para el Modelo de Barron y Lee, la pendiente obtenida es la menos pronunciada, moviéndose los valores en un margen de aproximadamente 2dB, entre el punto más cercano y el más alejado.

Queda claro, que para el caso de C_{80} , el Modelo Clásico se aleja mucho de los valores medidos in situ, si bien mantiene la tendencia decreciente con la distancia.

En el caso de Barron y Lee, el modelo teórico se acerca más a los valores experimentales, sobre todo a bajas frecuencias donde T_{30} es mayor.

Es el Modelo μ , el que mejor se aproxima a los valores medidos in situ, de forma más constante en las 3 bandas de frecuencia.

No obstante, a la vista de los resultados, aunque la tendencia de las 3 teorías con respecto a la distancia es la misma que la que siguen los valores medidos, aparecen en algunos puntos diferencias muy elevadas.

5.1.1.2. Valores calculados para G

Fuente 1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico Revisado	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,06	22,92	16,24	16,05	15,77
M3	6,06	17,95	15,88	15,57	15,20
M4	6,06	16,98	15,88	15,57	15,20
M5	9,62	17,46	15,69	15,17	14,64
M6	10,47	15,50	15,67	15,10	14,54
M7	10,47	15,95	15,67	15,10	14,54
M8	13,75	17,78	15,63	14,87	14,18
M9	14,47	15,63	15,62	14,82	14,10
M10	14,47	15,49	15,62	14,82	14,10
M11	18,05	16,83	15,60	14,60	13,76
M12	18,14	15,61	15,60	14,60	13,75
M13	18,60	15,41	15,60	14,57	13,71
M14	18,60	15,41	15,60	14,57	13,71
M15	22,05	16,86	15,59	14,37	13,41

Tabla 43. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1

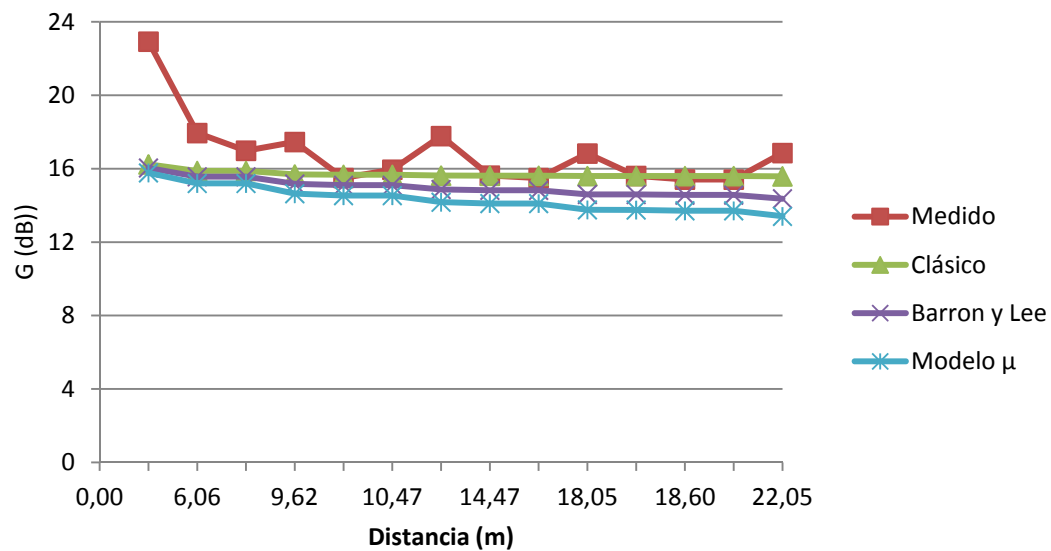


Figura 70. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F1

Los valores calculados a partir de las 3 teorías, decrecen de forma moderada con la distancia a la fuente y se asemejan de forma notable entre ellas. Por el contrario, para los valores medidos se aprecia una alta presencia de picos y valles.

Con el aumento de la distancias los valores calculados se aproximan más a los medidos in situ. Sin embargo, en este caso los valores del Modelo Clásico se acercan ligeramente más a los medidos.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,06	20,17	15,85	15,64	15,31
M3	6,06	16,94	15,46	15,11	14,67
M4	6,06	16,36	15,46	15,11	14,67
M5	9,62	15,75	15,25	14,67	14,04
M6	10,47	14,48	15,23	14,60	13,92
M7	10,47	14,75	15,23	14,60	13,92
M8	13,75	15,23	15,18	14,34	13,52
M9	14,47	14,30	15,17	14,29	13,43
M10	14,47	14,23	15,17	14,29	13,43
M11	18,05	15,03	15,15	14,04	13,05
M12	18,14	14,09	15,15	14,04	13,04
M13	18,60	13,78	15,15	14,01	12,99
M14	18,60	13,74	15,15	14,01	12,99
M15	22,05	14,30	15,13	13,78	12,65

Tabla 44. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1

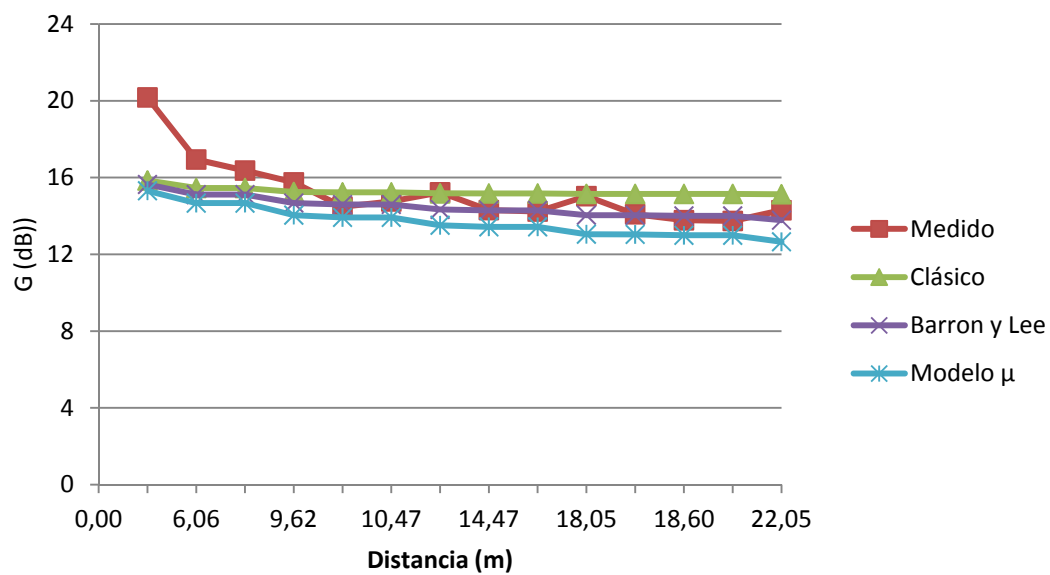


Figura 71. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F1

Aunque los valores de los 3 modelos se asemejan mucho, en este caso son los pertenecientes a Barron y Lee, los que más se aproximan a los valores medidos, con una diferencia máxima de 4,53 dB en el punto más cercano a la fuente y una mínima de 0,02 dB en M9.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) a Altas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,06	18,22	14,72	14,45	13,87
M3	6,06	14,83	14,20	13,74	12,97
M4	6,06	14,71	14,20	13,74	12,97
M5	9,62	14,33	13,92	13,14	12,06
M6	10,47	12,84	13,89	13,03	11,89
M7	10,47	13,06	13,89	13,03	11,89
M8	13,75	13,22	13,82	12,68	11,30
M9	14,47	12,78	13,81	12,61	11,18
M10	14,47	12,57	13,81	12,61	11,18
M11	18,05	12,72	13,78	12,27	10,64
M12	18,14	12,84	13,78	12,26	10,63
M13	18,60	11,80	13,78	12,22	10,56
M14	18,60	11,83	13,78	12,22	10,56
M15	22,05	12,58	13,76	11,90	10,10

Tabla 45. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1

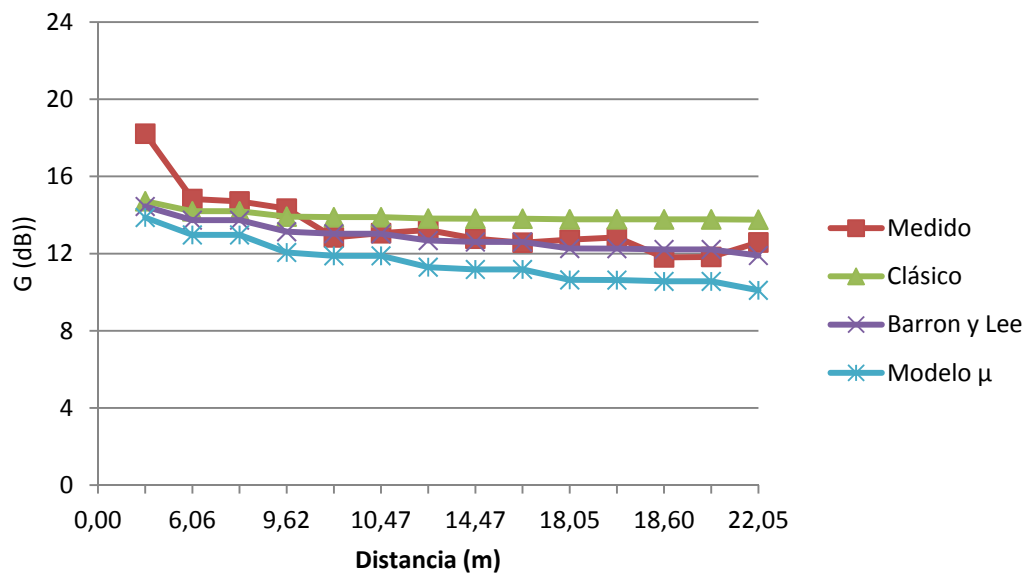


Figura 72. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F1

Al igual que ocurría para las frecuencias medias, los valores obtenidos mediante la aplicación del Modelo de Barron y Lee, son los más próximos a los medidos, con una diferencia máxima de 3,77 dB en el punto más cercano a la fuente y una mínima de 0,03 dB en M7.

En general, para F1, se comprueba que las 3 teorías se aproximan mucho a los valores medidos in situ, siendo los valores del Modelo μ , los que más se alejan, llegando hasta 7dB.

Para bajas frecuencias, el rango de valores en el que se mueven los resultados tanto medidos como calculados, es mayor, que para medias y estos a su vez están por encima del rango a altas frecuencias.

Para todas las bandas de frecuencias, los valores decrecen con la distancia, si bien, los valores medidos lo hacen con una pendiente más pronunciada.

En este caso, el Modelo Clásico, decrece con una pendiente muy suave.

Fuente 2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,44	19,66	15,95	15,68	15,34
M2	4,51	20,55	16,12	15,90	15,61
M3	9,00	18,24	15,71	15,22	14,72
M4	-	-	-	-	-
M5	8,27	17,79	15,74	15,29	14,82
M6	10,50	16,86	15,67	15,10	14,53
M7	5,41	18,09	15,96	15,68	15,35
M8	10,70	16,36	15,67	15,09	14,51
M9	9,70	17,21	15,69	15,16	14,63
M10	13,24	16,84	15,63	14,91	14,23
M11	14,71	16,61	15,62	14,81	14,08
M12	14,27	16,02	15,62	14,84	14,12
M13	14,00	16,71	15,62	14,85	14,15
M14	16,65	16,88	15,61	14,69	13,89
M15	18,56	15,78	15,60	14,57	13,72

Tabla 46. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2

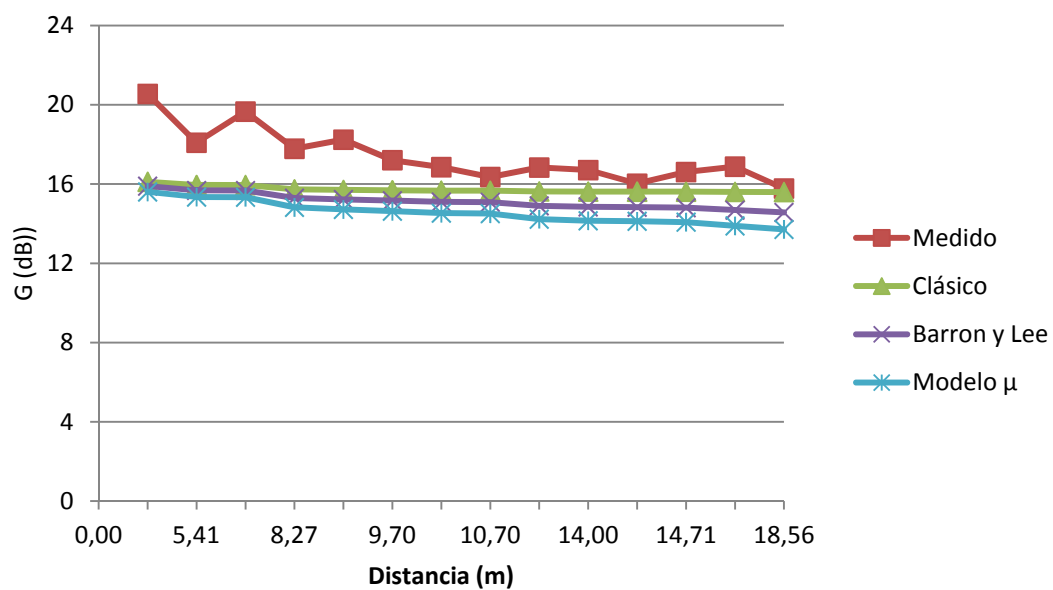


Figura 73. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F2

Los valores calculados a partir de las 3 teorías, decrecen de forma moderada con la distancia a la fuente y se asemejan de forma notable entre ellas. Por el contrario, para los valores medidos se aprecia una pendiente más pronunciada que alterna algunos picos.

Con el aumento de la distancia, los valores calculados se aproximan más a los medidos in situ. Sin embargo, en este caso los valores del Modelo Clásico, al igual que ocurría con la Fuente 1 se acercan ligeramente más a los medidos.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,44	17,55	15,54	15,23	14,83
M2	4,51	18,73	15,72	15,48	15,13
M3	9,00	17,19	15,27	14,73	14,13
M4	-	-	-	-	-
M5	8,27	16,16	15,30	14,81	14,25
M6	10,50	15,54	15,23	14,60	13,92
M7	5,41	17,31	15,54	15,24	14,84
M8	10,70	15,20	15,22	14,58	13,89
M9	9,70	15,73	15,25	14,67	14,03
M10	13,24	14,57	15,18	14,38	13,58
M11	14,71	14,77	15,17	14,27	13,41
M12	14,27	14,62	15,17	14,30	13,46
M13	14,00	15,27	15,18	14,32	13,49
M14	16,65	14,68	15,16	14,14	13,20
M15	18,56	14,51	15,15	14,01	13,00

Tabla 47. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2

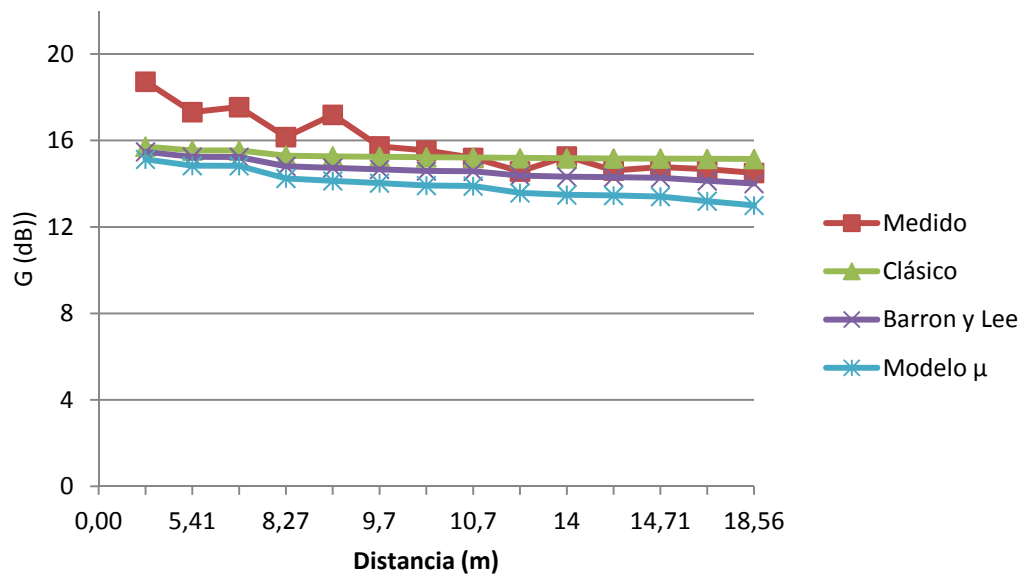


Figura 74. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F2

Aunque los valores de los 3 modelos se asemejan mucho, en este caso sigue siendo el Modelo clásico el que más se asemeja a los valores obtenidos mediante las mediciones in situ. Con una diferencia máxima de 3 dB en el punto más cercano a la fuente y una mínima de 0,09 dB en M13.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G(dB) a Altas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,44	16,24	14,31	13,90	13,20
M2	4,51	18,51	14,55	14,23	13,62
M3	9,00	16,29	13,95	13,22	12,19
M4	-	-	-	-	-
M5	8,27	15,12	13,99	13,33	12,36
M6	10,50	14,02	13,89	13,03	11,88
M7	5,41	16,79	14,31	13,91	13,21
M8	10,70	13,51	13,88	13,01	11,84
M9	9,70	14,91	13,92	13,13	12,04
M10	13,24	13,10	13,83	12,73	11,39
M11	14,71	12,55	13,81	12,58	11,15
M12	14,27	12,66	13,81	12,63	11,22
M13	14,00	13,92	13,82	12,65	11,26

M14	16,65	12,38	13,79	12,40	10,85
M15	18,56	12,16	13,78	12,22	10,57

Tabla 48. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2

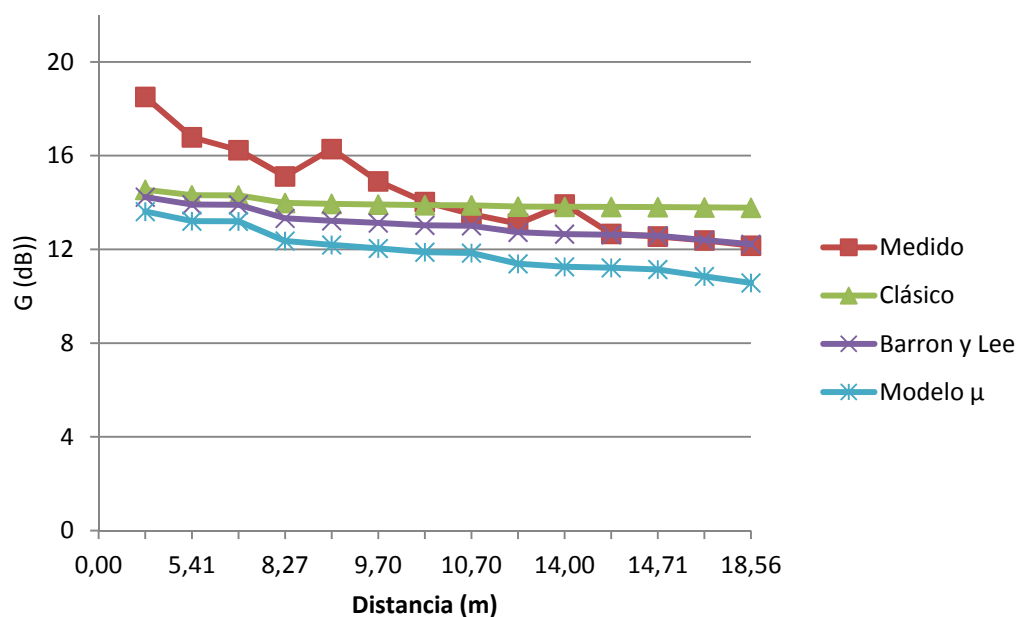


Figura 75. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F2

Como se puede observar, a altas frecuencias es el Modelo de Barron y Lee el que más se aproxima a los valores experimentales, sobre todo cuando la distancia a la fuente es mayor, con una diferencia máxima de 4,28 dB en el punto más cercano a la fuente y una mínima de 0,02 dB en M14.

En general, para F2, se comprueba que, al igual que para la Fuente 1, las 3 teorías se aproximan mucho a los valores medidos in situ, siendo los valores del Modelo μ , los que más se alejan, llegando hasta 5dB.

Para bajas frecuencias, el rango de valores en el que se mueven los resultados tanto medidos como calculados, es mayor, que para medias y estos a su vez están por encima del rango a altas frecuencias.

Para todas las bandas de frecuencias, los valores decrecen con la distancia, si bien, los valores medidos lo hacen con una pendiente más pronunciada.

Igualmente, el Modelo Clásico, decrece con una pendiente muy suave.

Fuente 3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	21,05	17,47	15,59	14,42	13,50
M2	18,00	17,03	15,60	14,61	13,77
M3	18,56	16,11	15,60	14,57	13,72
M4	18,56	15,54	15,60	14,57	13,72
M5	12,72	16,62	15,64	14,94	14,29
M6	13,38	18,47	15,63	14,90	14,22
M7	13,38	17,27	15,63	14,90	14,22
M8	8,31	18,43	15,73	15,29	14,82
M9	9,45	17,13	15,70	15,19	14,66
M10	9,45	17,43	15,70	15,19	14,66
M11	4,01	21,34	16,25	16,06	15,80
M12	4,38	19,78	16,15	15,94	15,65
M13	6,03	16,63	15,88	15,57	15,21
M14	6,03	16,92	15,88	15,57	15,21
M15	-	-	-	-	-

Tabla 49. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3

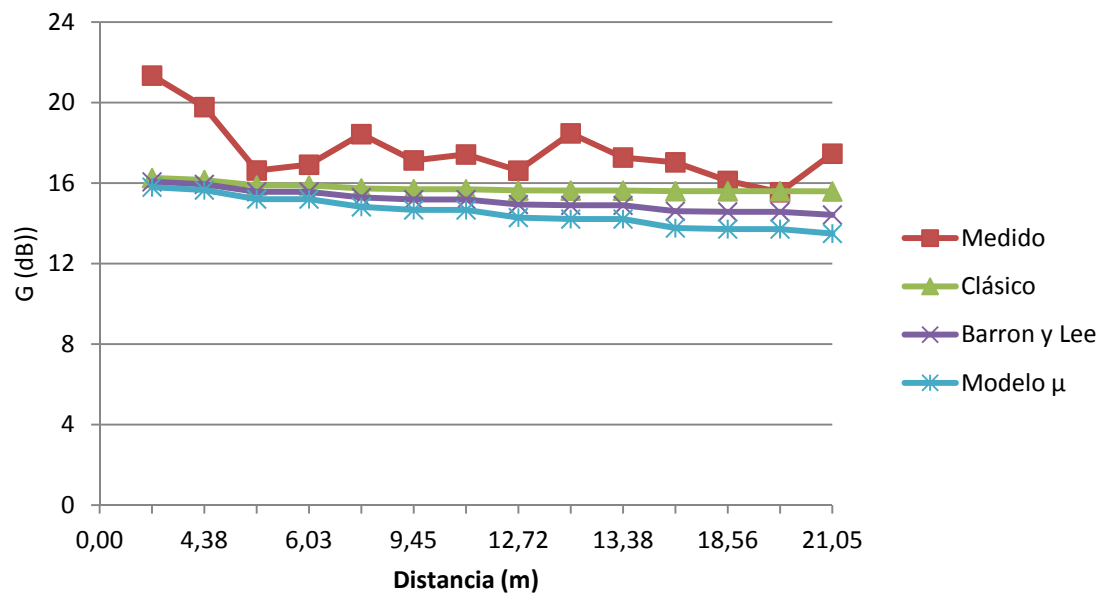


Figura 76. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F3

Al igual que ocurría para las Fuentes 1 y 2, los valores calculados a partir de las 3 teorías, decrecen de forma moderada con la distancia a la fuente y son muy similares entre ellas. Por el contrario, para los valores medidos se aprecia una mayor fluctuación.

Una vez más, para bajas frecuencias el modelo que más se aproxima, es el Modelo Clásico.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	21,05	14,74	15,14	13,84	12,75
M2	18,00	15,15	15,15	14,05	13,05
M3	18,56	14,82	15,15	14,01	13,00
M4	18,56	14,63	15,15	14,01	13,00
M5	12,72	16,08	15,19	14,42	13,64
M6	13,38	15,36	15,18	14,37	13,56
M7	13,38	15,59	15,18	14,37	13,56
M8	8,31	17,32	15,30	14,81	14,24
M9	9,45	16,48	15,25	14,69	14,07
M10	9,45	16,46	15,25	14,69	14,07
M11	4,01	20,54	15,87	15,66	15,34
M12	4,38	19,08	15,76	15,52	15,18
M13	6,03	16,24	15,46	15,12	14,68
M14	6,03	16,27	15,46	15,12	14,68
M15	-	-	-	-	-

Tabla 50. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3

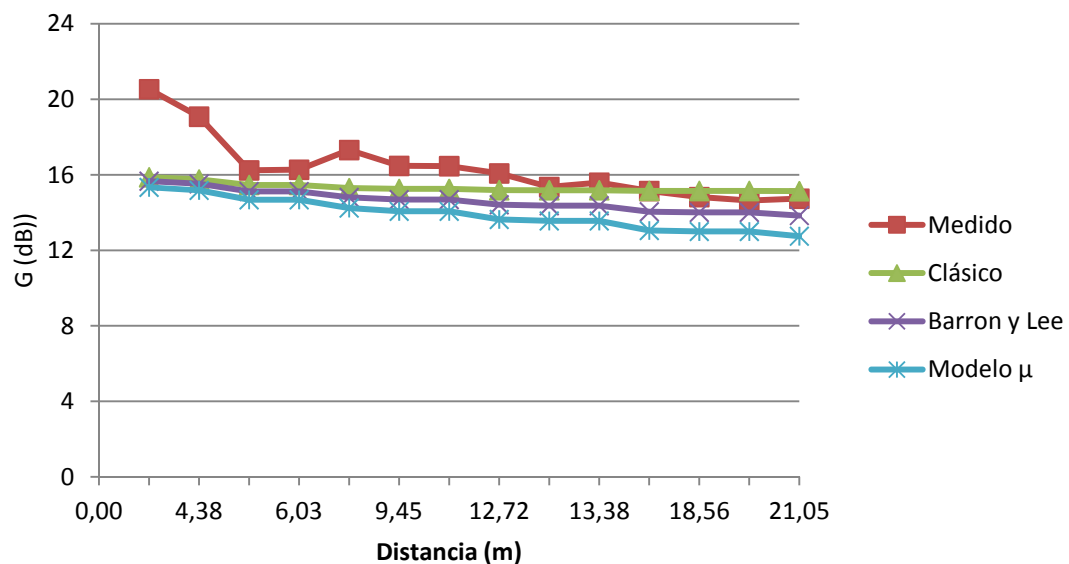


Figura 77. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F3

Aunque los valores de los 3 modelos se asemejan mucho, sobre todo cuando la distancia es menor, sigue siendo el Modelo Clásico el que más se aproxima a los valores obtenidos mediante las mediciones in situ. Con una diferencia máxima de 4,67 dB en el punto más cercano a la fuente y coincidiendo en el punto M2.

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	G (dB) a Altas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	21,05	12,68	13,77	11,99	10,23
M2	18,00	13,04	13,78	12,27	10,65
M3	18,56	12,71	13,78	12,22	10,57
M4	18,56	12,13	13,78	12,22	10,57
M5	12,72	15,39	13,84	12,78	11,47
M6	13,38	14,37	13,83	12,72	11,36
M7	13,38	14,59	13,83	12,72	11,36
M8	8,31	15,97	13,98	13,32	12,35
M9	9,45	15,23	13,93	13,16	12,10
M10	9,45	15,35	13,93	13,16	12,10
M11	4,01	19,13	14,74	14,47	13,91
M12	4,38	18,69	14,59	14,29	13,69
M13	6,03	15,20	14,20	13,75	12,98
M14	6,03	15,77	14,20	13,75	12,98
M15	-	-	-	-	-

Tabla 51. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3

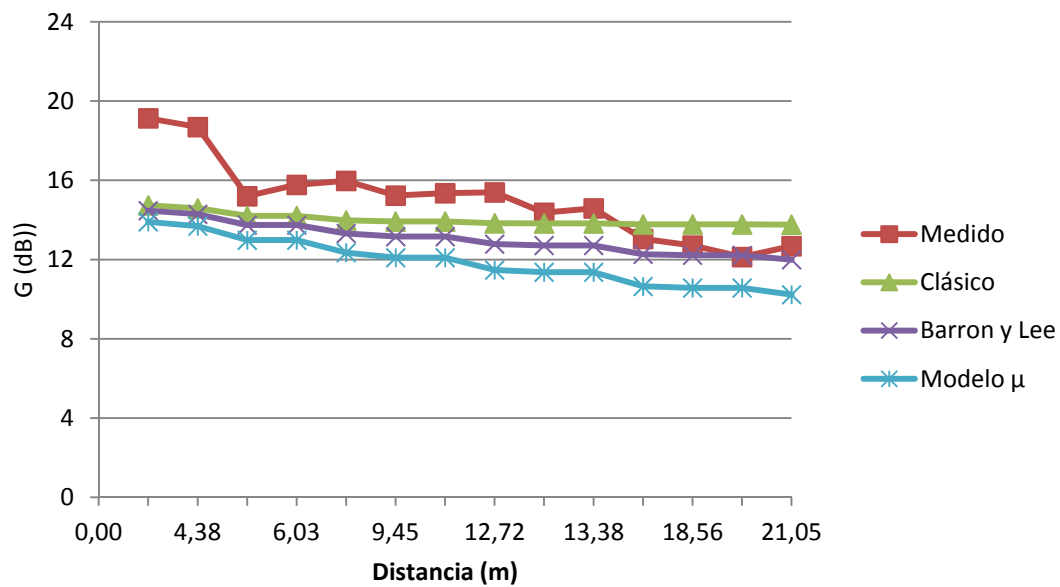


Figura 78. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F3

Se deduce de los datos expuestos, que a altas frecuencias, las diferencias menores se dan para el Modelo Clásico.

Para el caso de F3, se comprueba que, al igual que para la Fuente 1, las 3 teorías se aproximan mucho a los valores medidos in situ, siendo los valores del Modelo μ , los que más se alejan, sobre todo cuando la distancia es menor, llegando hasta 5dB.

A continuación, en las siguientes figuras se muestra el plano de planta de la iglesia, con los valores diferenciales para cada una de las teorías en relación a los medidos, clasificados en rangos de valores, que se representan mediante la misma codificación que para C_{80} .

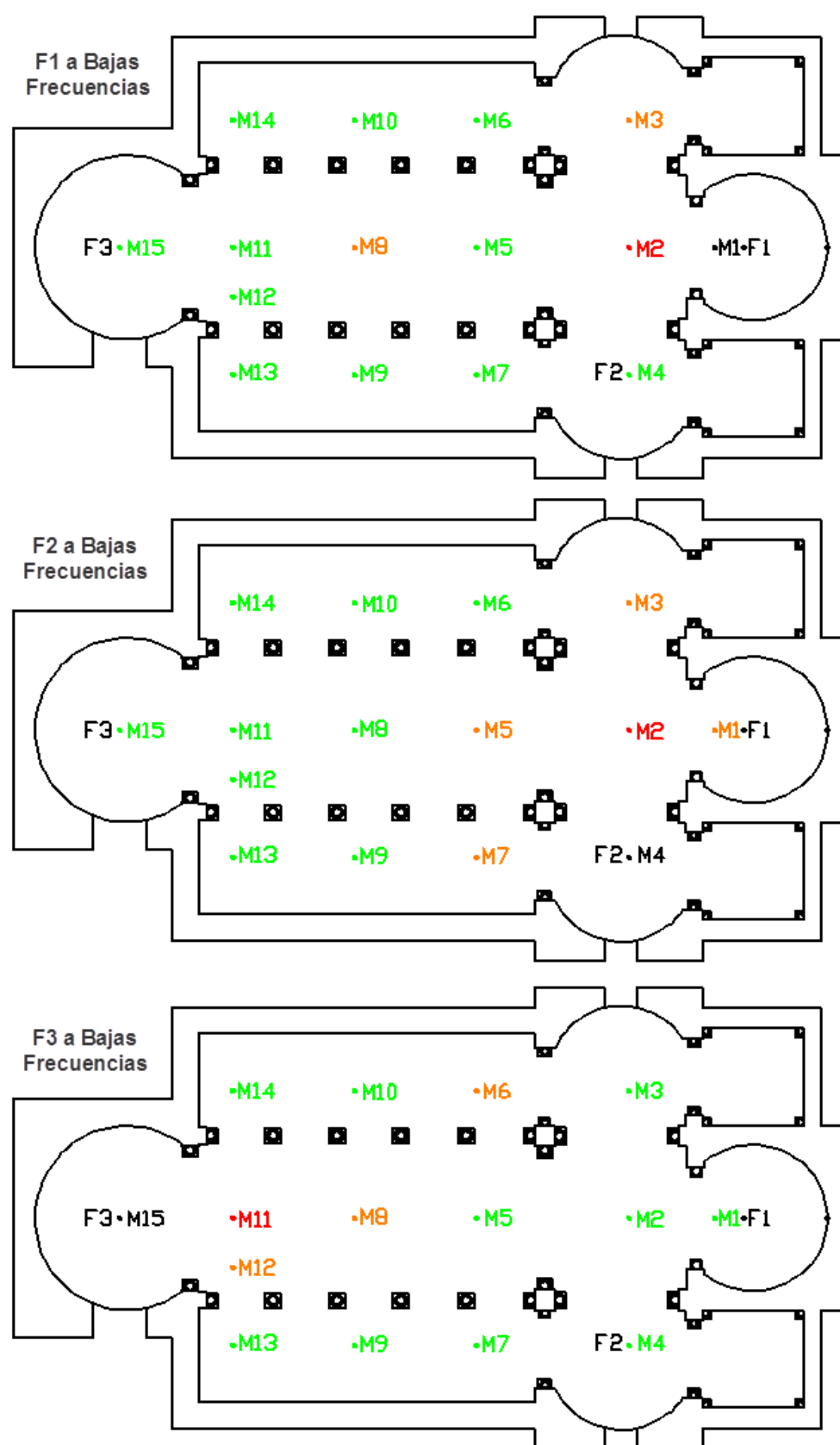


Figura 79. Diferencia para G a Bajas Frecuencias para el Modelo Clásico

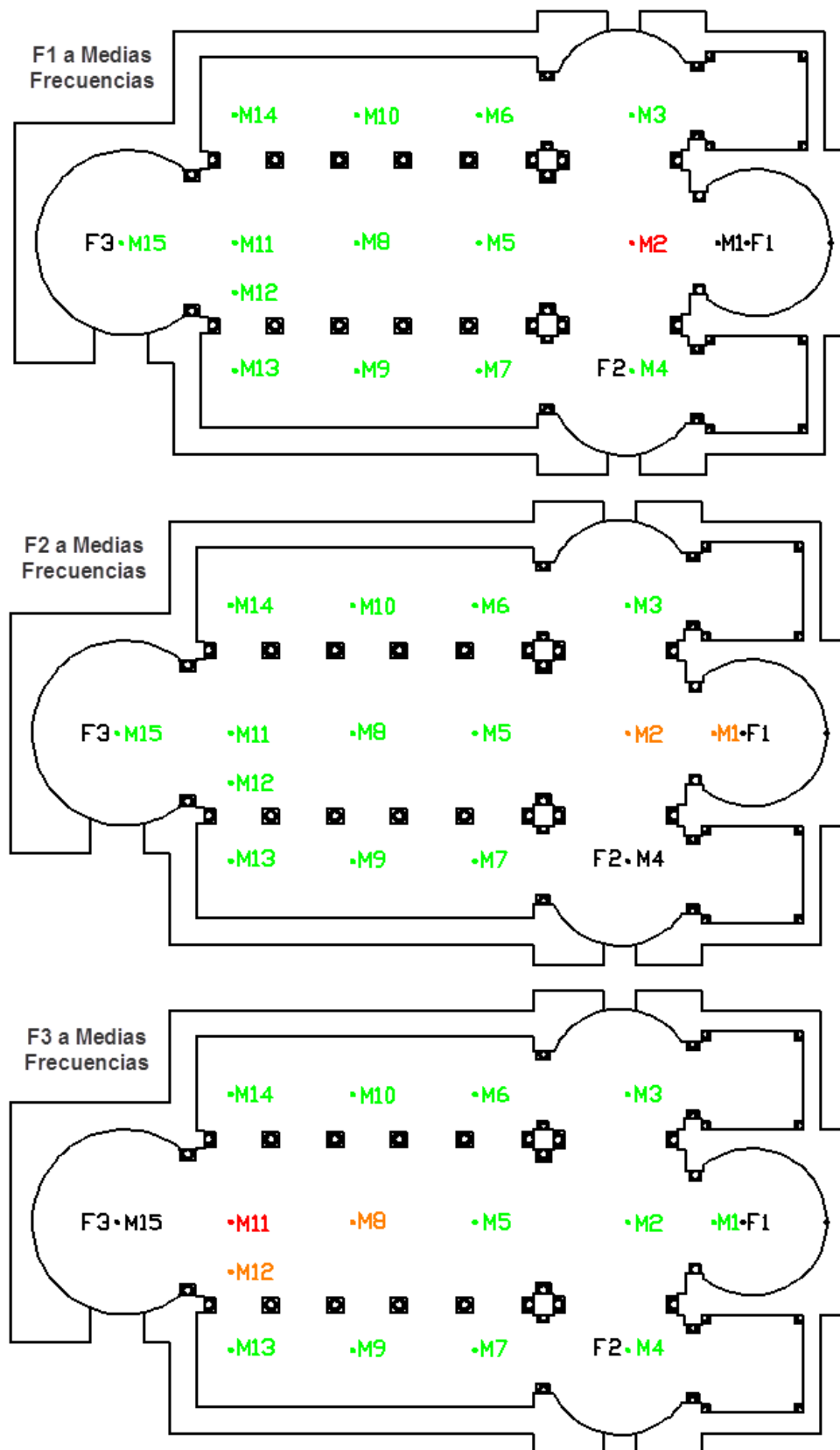


Figura 80. Diferencia para G a Medias Frecuencias para el Modelo Clásico

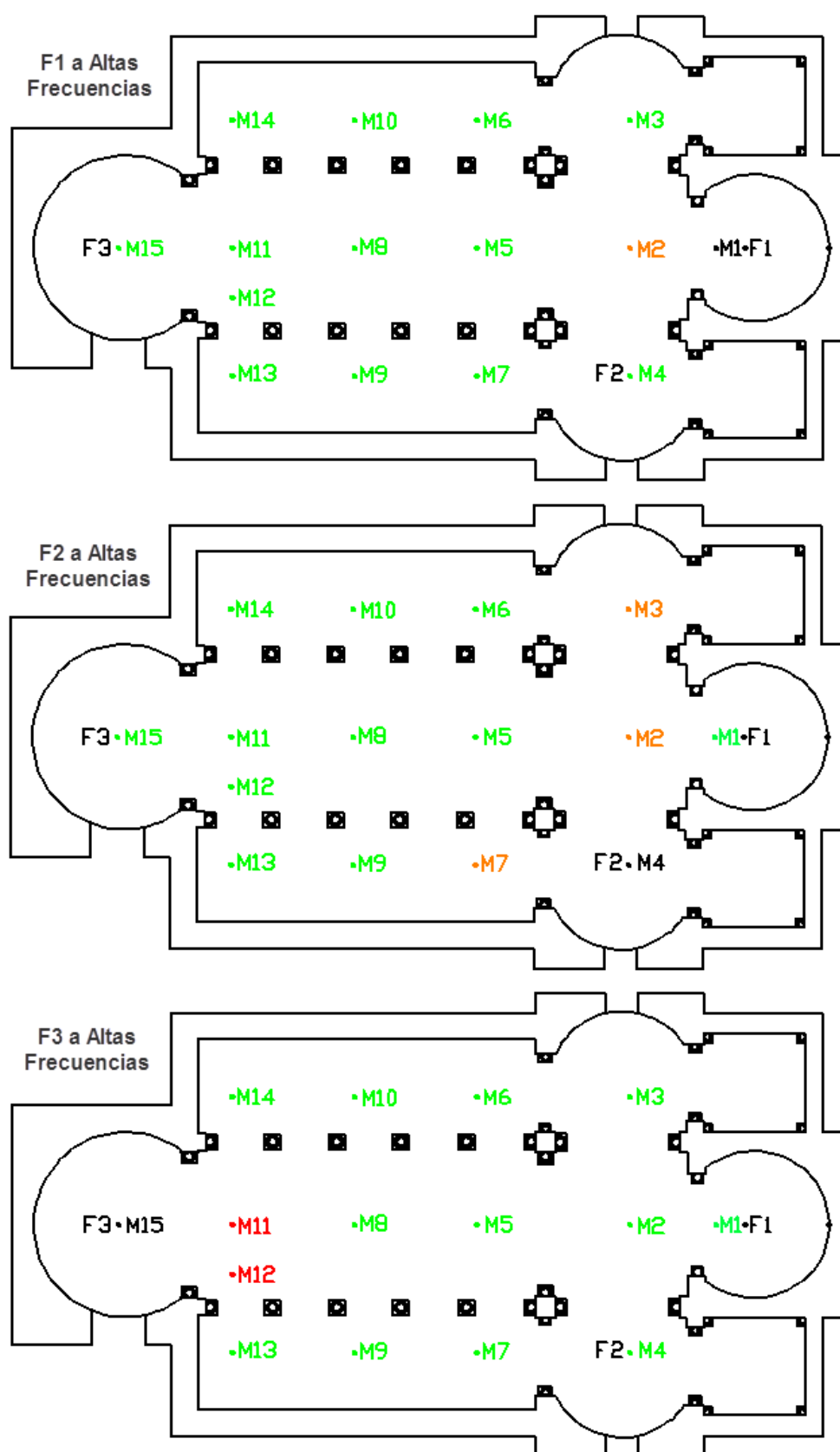


Figura 81. Diferencia para G a Altas Frecuencias para el Modelo Clásico

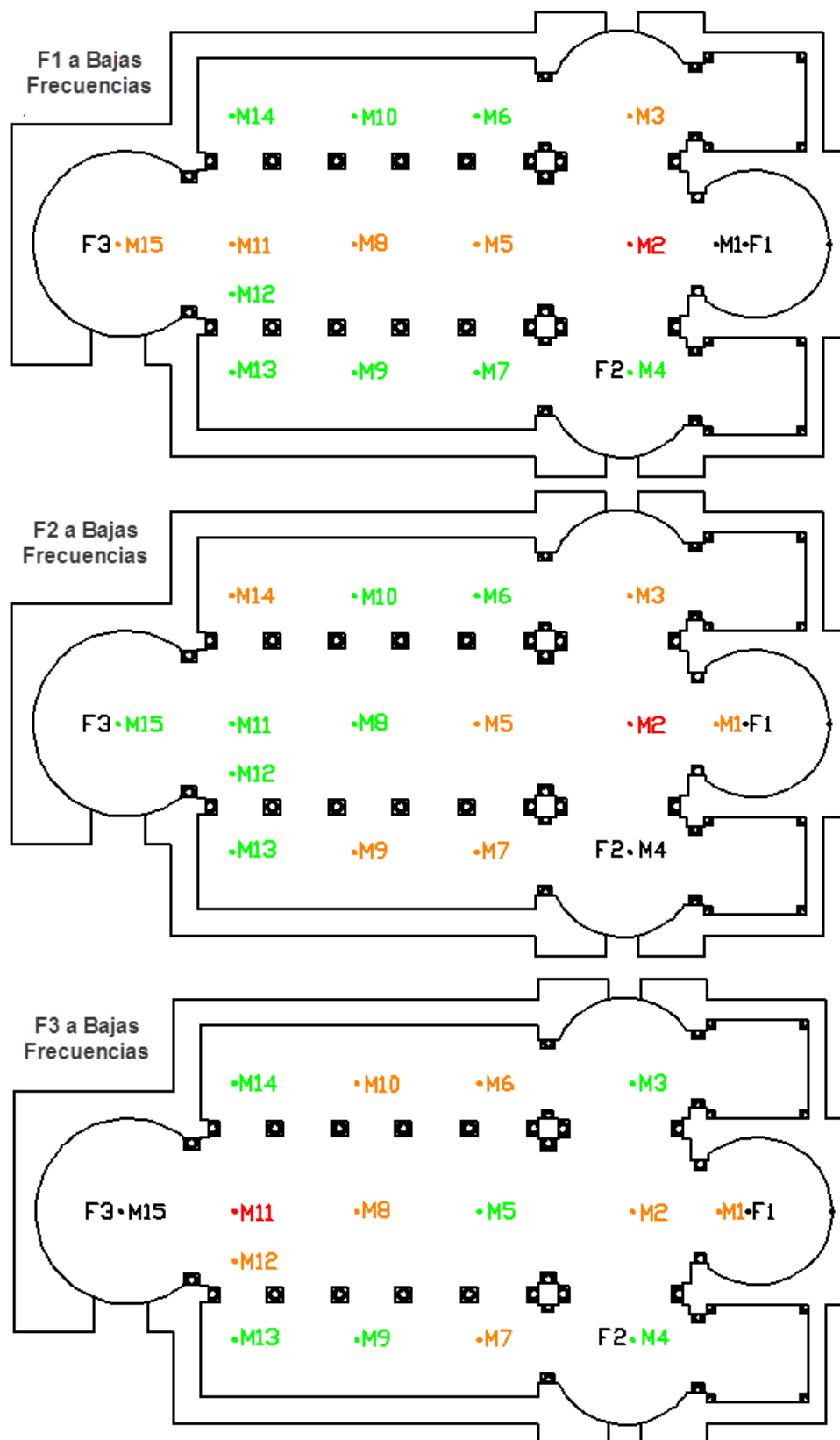


Figura 82. Diferencia para G a Bajas Frecuencias para el Modelo de Barron y Lee

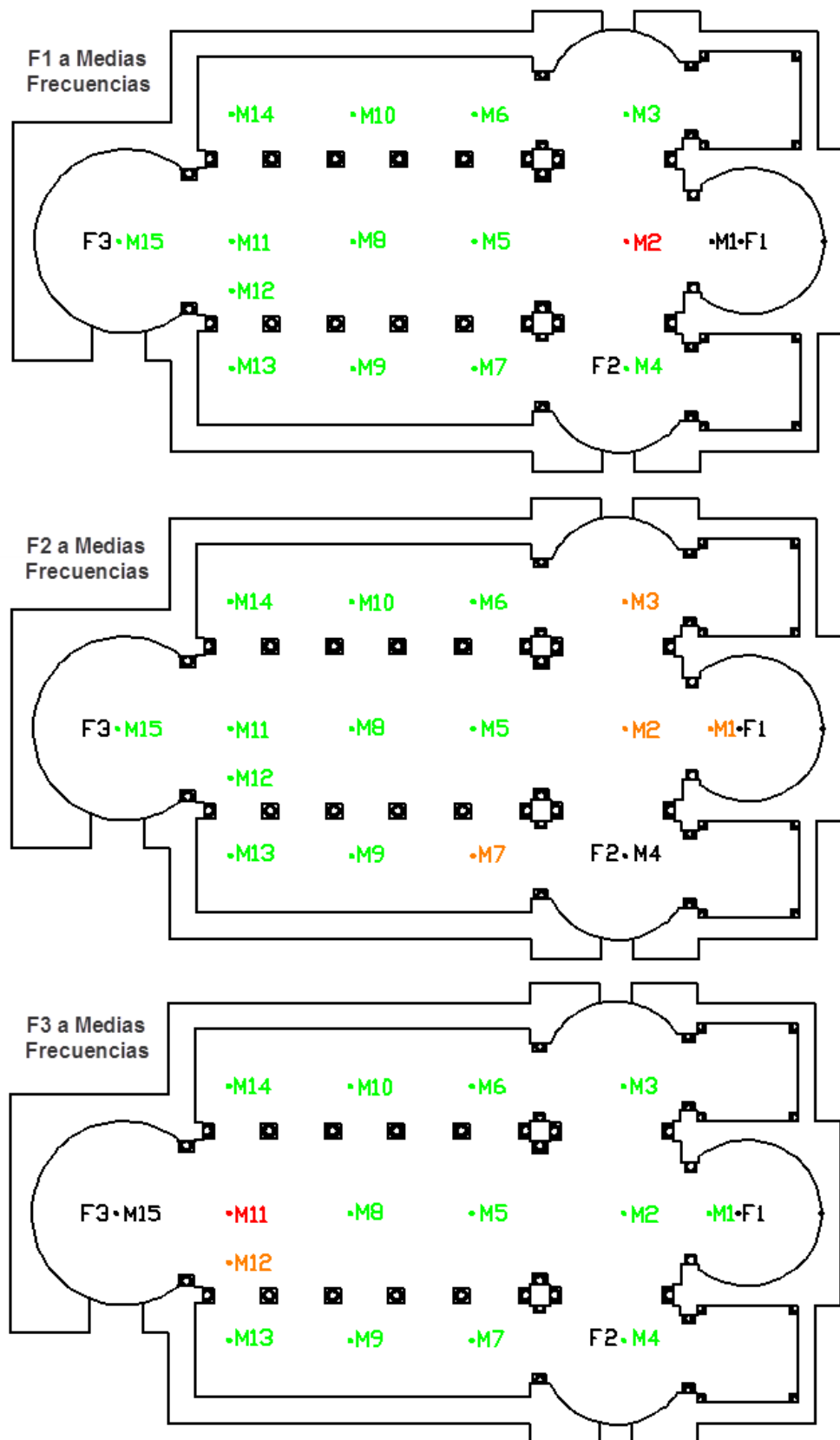


Figura 83. Diferencia para G a Medias Frecuencias para el Modelo de Barron y Lee

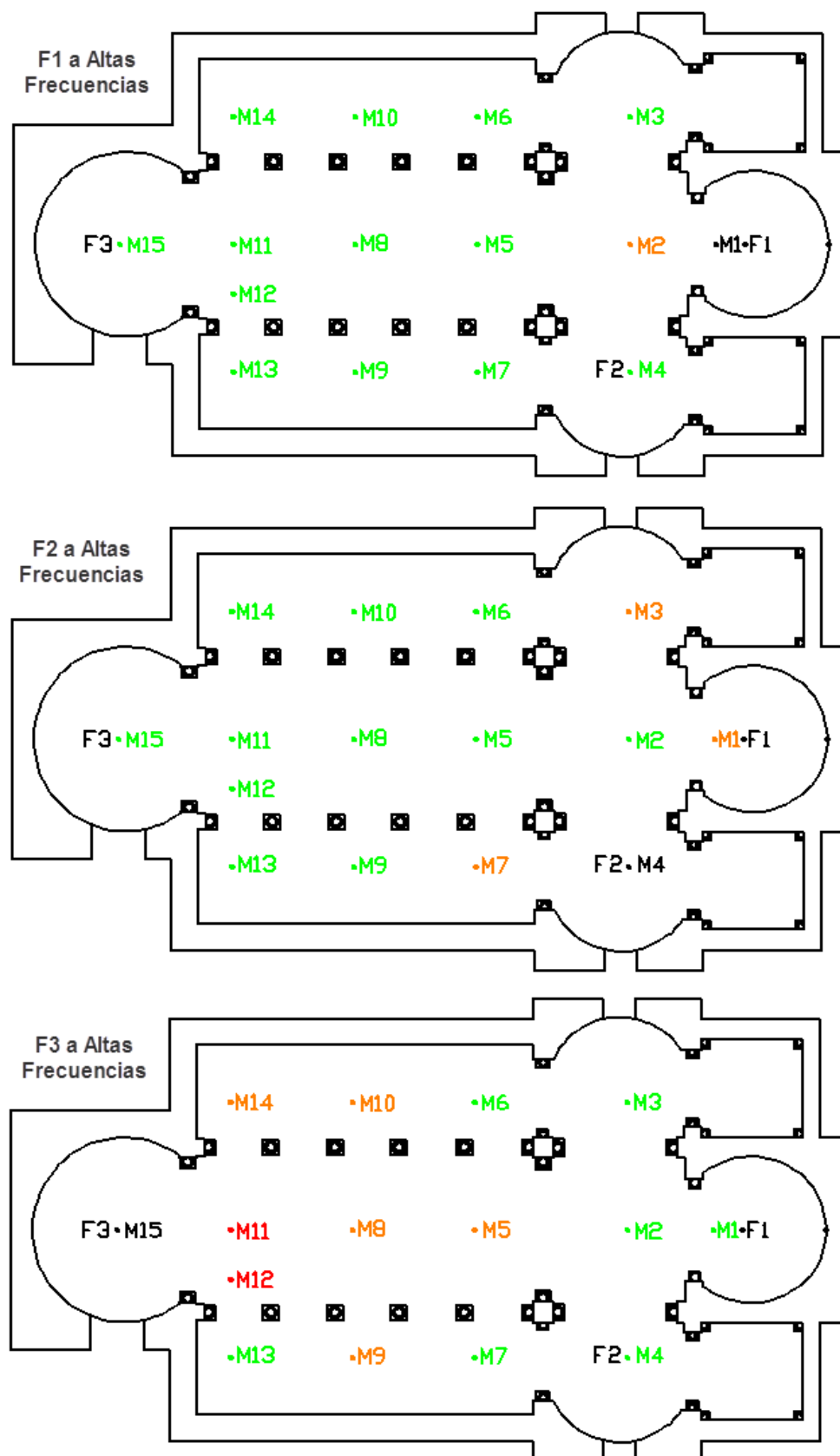


Figura 84. Diferencia para G a Altas Frecuencias para el Modelo de Barron y Lee

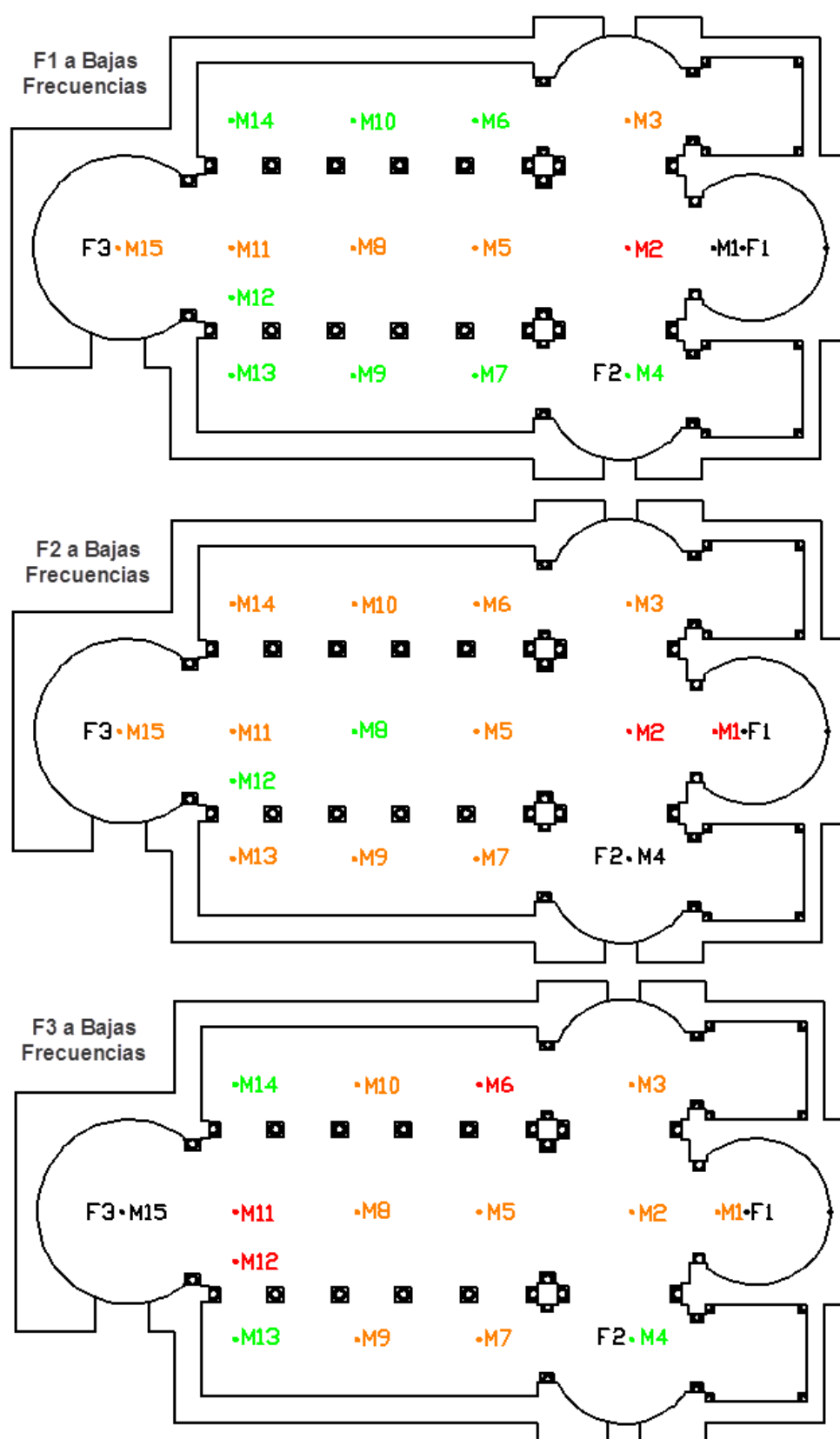


Figura 85. Diferencia para G a Bajas Frecuencias para Modelo μ

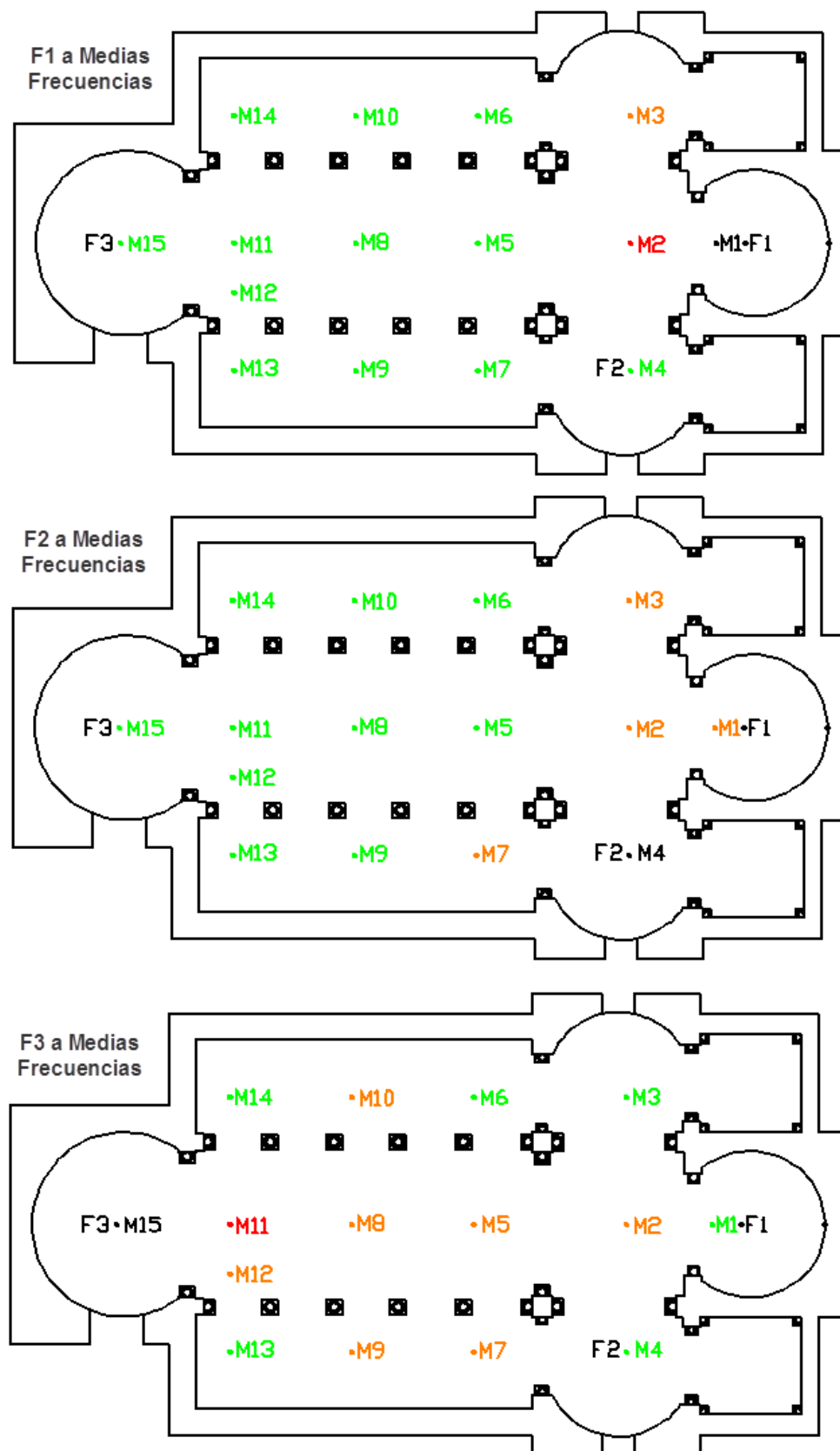


Figura 86. Diferencia para G a Medias Frecuencias para Modelo μ

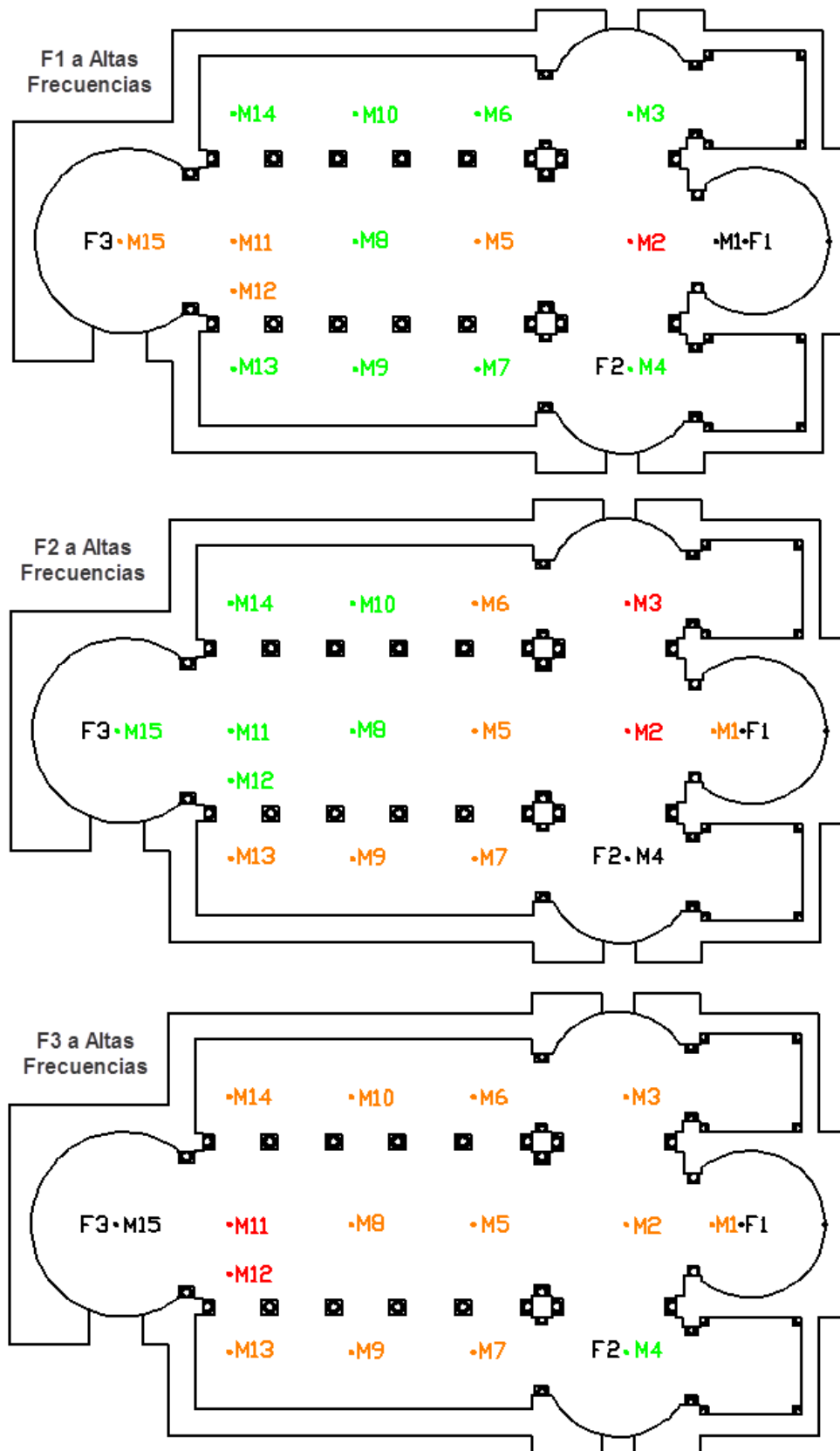


Figura 87. Diferencia para G a Altas Frecuencias para Modelo μ

5.1.1.2.1. Conclusiones para G

A la vista de los resultados se llega a las siguientes conclusiones:

Para bajas frecuencias, el rango de valores en el que se mueven los resultados tanto medidos como calculados, es mayor, que para medias y estos a su vez están por encima del rango a altas frecuencias.

Para todas las bandas de frecuencias, los valores decrecen con la distancia, si bien, los valores medidos lo hacen con una pendiente más pronunciada y por el contrario, los valores obtenidos mediante el Modelo Clásico lo hacen con una pendiente mucho más discreta.

Al contrario que para la claridad, para la sonoridad, se observa que es el Modelo Clásico el que más se asemeja a los valores medidos sin situ. Si bien, en la banda en la que mejor se comportan las 3 teorías es la de medias frecuencias.

En este caso, son los valores del Modelo μ , los que menos parecido guardan con los experimentales.

No obstante, a pesar de las similitudes que guarda el Modelo Clásico, existen puntos en los que la diferencia es muy elevada.

5.1.2. Iglesia de San Juan de Baños

Para los cálculos realizados se han apartado de los siguientes valores: un volumen de 928 m^3 , un μ de 0,059 y un T30 para cada banda de frecuencia con los siguientes valores:

- 1,81 s para la banda de Bajas Frecuencias.
- 1,33 s para la banda de Medias Frecuencias.
- 1,04 s para la banda de Altas Frecuencias.

A partir de estos valores y las distancias a los puntos de medida, se han calculado los valores de C80 y G para cada posición de micrófono, con cada una de las fuentes. Este proceso se ha repetido para bajas, medias y altas frecuencias.

5.1.2.1. Valores calculados para C_{80}

Fuente 1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico Revisado	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	3,48	-0,45	9,60	0,50	0,38
M3	5,77	-1,86	5,85	-0,21	-0,44
M4	8,12	-2,47	3,74	-0,43	-0,78
M5	10,42	0,36	2,48	-0,53	-0,99
M6	3,87	-0,51	8,77	0,30	0,16
M7	5,24	-1,66	6,52	-0,11	-0,32
M8	5,88	0,00	5,73	-0,22	-0,46
M9	7,15	-2,70	4,48	-0,36	-0,67
M10	8,25	-1,81	3,65	-0,44	-0,80
M11	8,89	-1,09	3,25	-0,47	-0,86
M12	10,46	-1,08	2,47	-0,53	-0,99
M13	11,16	-1,23	2,18	-0,55	-1,04
M14	4,15	-8,69	8,24	0,19	0,03
M15	4,20	-8,08	8,14	0,17	0,01

Tabla 52. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1

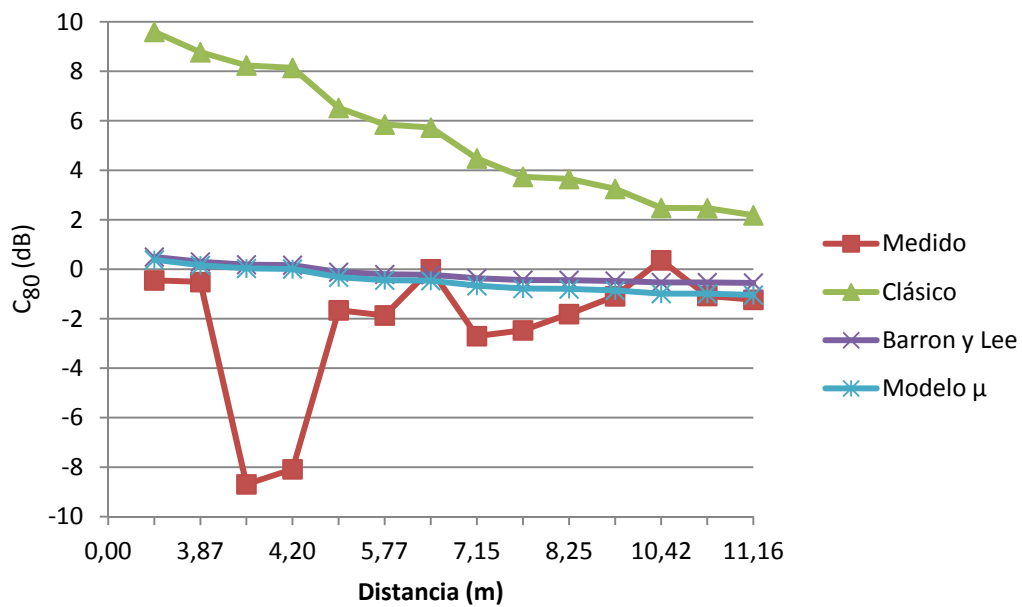


Figura 88. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	3,48	2,54	9,81	2,52	2,36
M3	5,77	2,30	6,35	1,75	1,44
M4	8,12	0,46	4,51	1,50	1,03
M5	10,42	0,90	3,49	1,39	0,77
M6	3,87	1,86	9,03	2,31	2,12
M7	5,24	1,51	6,95	1,85	1,58
M8	5,88	1,12	6,23	1,73	1,41
M9	7,15	-0,66	5,14	1,57	1,17
M10	8,25	-0,49	4,44	1,49	1,01
M11	8,89	-0,50	4,11	1,45	0,93
M12	10,46	0,51	3,47	1,39	0,77
M13	11,16	0,67	3,25	1,37	0,70
M14	4,15	-4,78	8,53	2,18	1,98
M15	4,20	-4,03	8,44	2,16	1,95

Tabla 53. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1

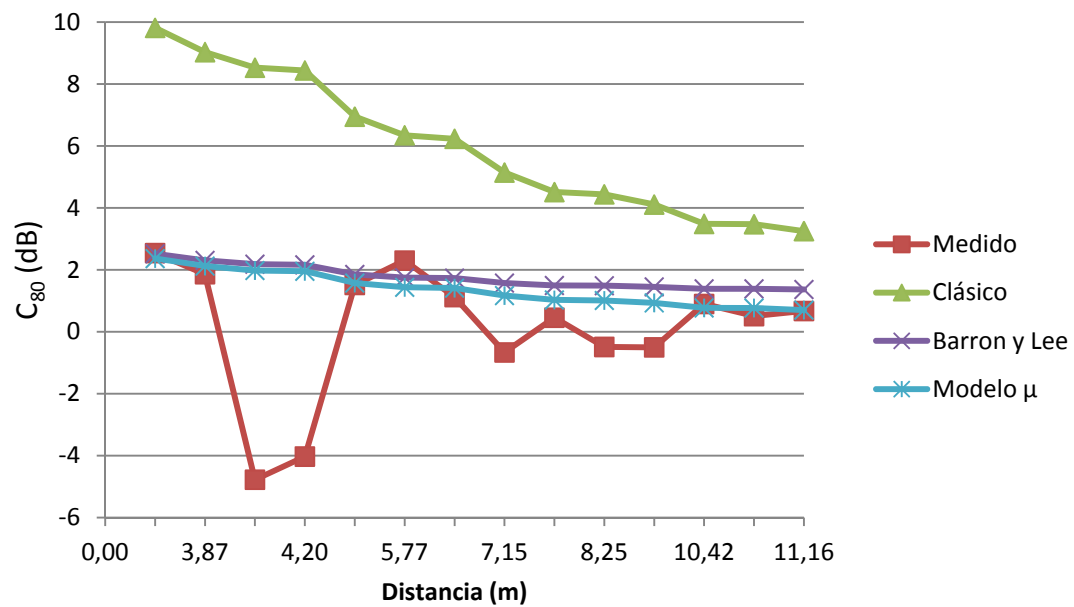


Figura 89. Comparativa de C80 a Medias Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	3,48	4,84	10,08	4,32	4,13
M3	5,77	2,95	6,91	3,48	3,09
M4	8,12	2,18	5,35	3,20	2,61
M5	10,42	2,86	4,53	3,07	2,30
M6	3,87	4,49	9,35	4,09	3,86
M7	5,24	2,73	7,45	3,59	3,25
M8	5,88	2,41	6,82	3,46	3,06
M9	7,15	1,81	5,88	3,28	2,78
M10	8,25	1,72	5,29	3,19	2,59
M11	8,89	1,89	5,02	3,15	2,49
M12	10,46	1,39	4,52	3,07	2,29
M13	11,16	1,49	4,34	3,05	2,21
M14	4,15	-2,21	8,88	3,95	3,70
M15	4,20	-1,46	8,80	3,93	3,67

Tabla 54. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1

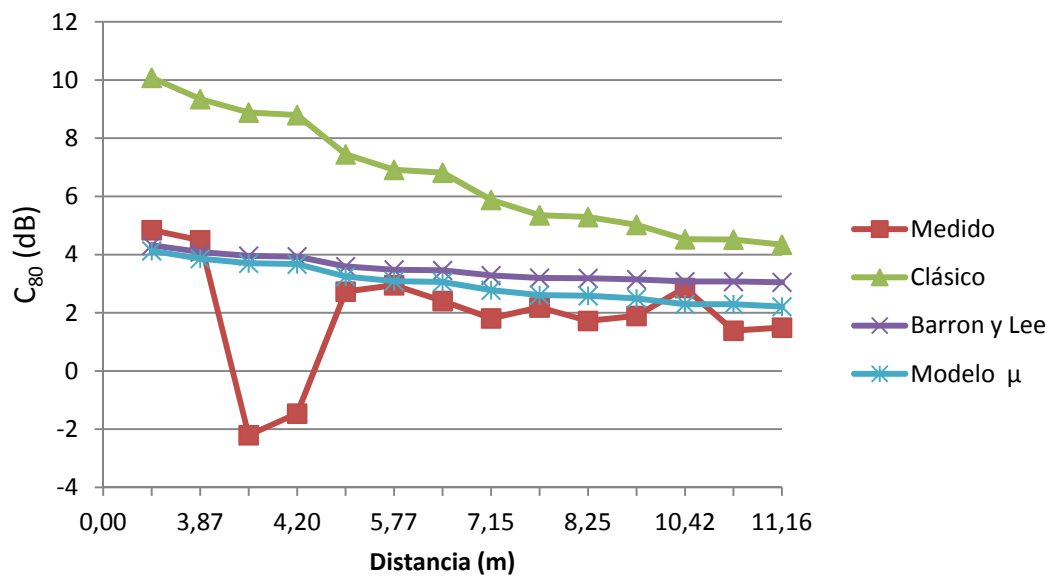


Figura 90. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F1

Como se puede observar para altas frecuencias C_{80} , se mueve dentro de un rango de valores mayores que para medias y bajas frecuencias.

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente. Sin embargo, los valores medidos, no muestran una pendiente uniforme, apareciendo un gran valle. De hecho, los modelos teóricos, no se asemejan a la forma de la curva para los valores medidos.

En todos los casos, el Modelo Clásico es el que más se aleja de los valores experimentales, mientras el de Barron y Lee y el Modelo μ , son los que se me aproximan. No obstante, se encuentran diferencias de hasta 8,88 dB y 8,72 dB, respectivamente.

Fuente 2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,23	-0,53	6,54	-0,11	-0,32
M2	4,03	0,71	8,46	0,23	0,08
M3	4,68	-0,13	7,34	0,02	-0,16
M4	6,24	-1,53	5,34	-0,27	-0,53
M5	8,13	0,59	3,74	-0,43	-0,78
M6	5,62	-1,52	6,03	-0,18	-0,41
M7	-	-	-	-	-
M8	3,63	-0,02	9,27	0,42	0,29
M9	8,46	0,52	3,51	-0,45	-0,82
M10	7,14	-0,48	4,49	-0,36	-0,66
M11	4,67	2,58	7,35	0,02	-0,16
M12	7,61	-0,36	4,11	-0,40	-0,72
M13	10,55	0,96	2,43	-0,53	-1,00
M14	8,77	-5,82	3,32	-0,47	-0,85
M15	4,42	3,22	7,76	0,09	-0,07

Tabla 55. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2

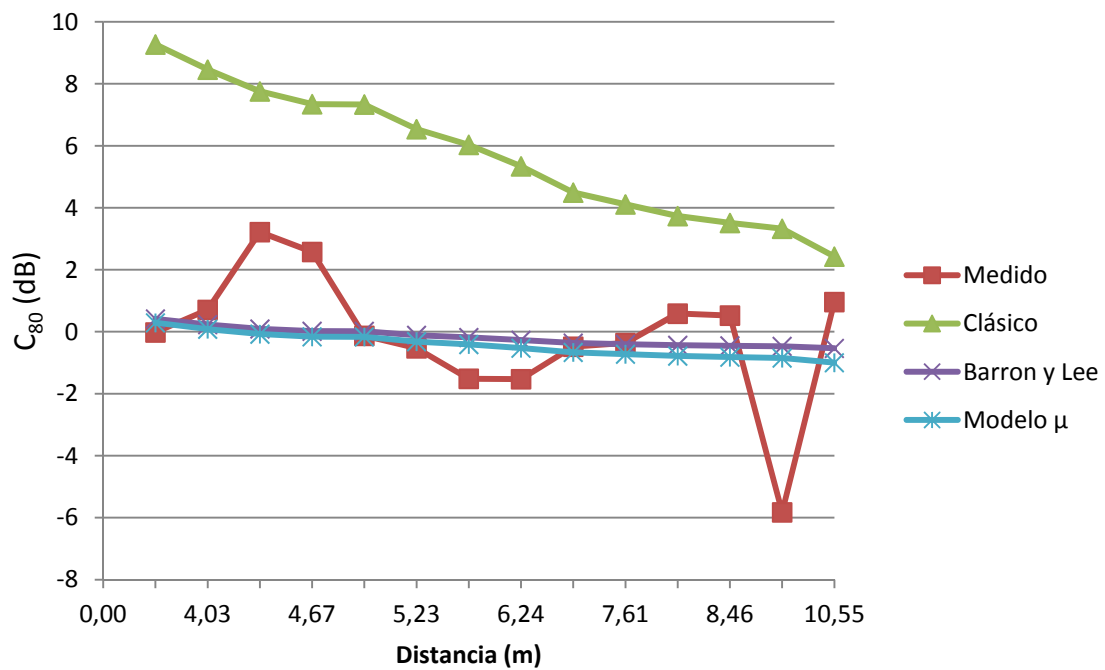
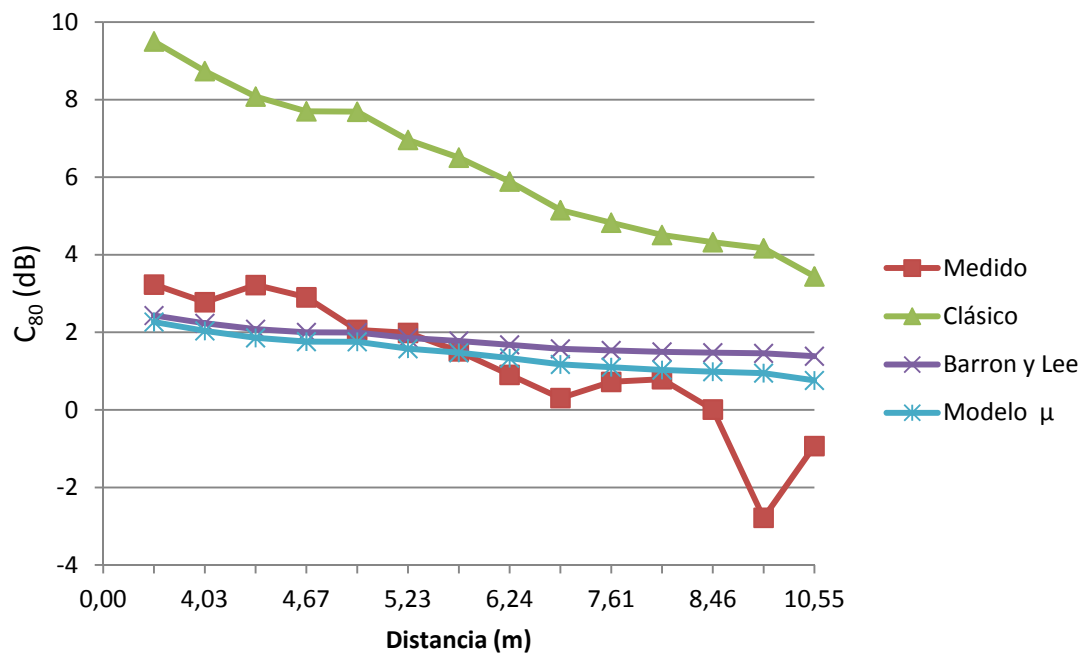


Figura 91. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,23	1,99	6,96	1,86	1,58
M2	4,03	2,78	8,74	2,23	2,04
M3	4,68	2,06	7,69	2,00	1,76
M4	6,24	0,90	5,89	1,68	1,34
M5	8,13	0,79	4,51	1,50	1,03
M6	5,62	1,51	6,51	1,78	1,47
M7	-	-	-	-	-
M8	3,63	3,23	9,50	2,43	2,27
M9	8,46	0,01	4,32	1,48	0,99
M10	7,14	0,30	5,15	1,58	1,17
M11	4,67	2,90	7,70	2,00	1,76
M12	7,61	0,72	4,83	1,53	1,10
M13	10,55	-0,93	3,44	1,38	0,76
M14	8,77	-2,78	4,17	1,46	0,95
M15	4,42	3,22	8,08	2,08	1,86

Tabla 56. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2

Figura 92. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,23	3,74	7,46	3,60	3,25
M2	4,03	4,00	9,07	4,01	3,77
M3	4,68	3,47	8,12	3,75	3,45
M4	6,24	1,68	6,52	3,40	2,97
M5	8,13	2,25	5,35	3,20	2,61
M6	5,62	3,40	7,06	3,51	3,13
M7	-	-	-	-	-
M8	3,63	6,40	9,79	4,23	4,02
M9	8,46	1,22	5,20	3,17	2,56
M10	7,14	2,58	5,89	3,29	2,78
M11	4,67	4,44	8,12	3,75	3,46
M12	7,61	2,84	5,61	3,24	2,69
M13	10,55	1,44	4,49	3,07	2,28
M14	8,77	-0,56	5,07	3,15	2,51
M15	4,42	5,39	8,47	3,84	3,57

Tabla 57. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2

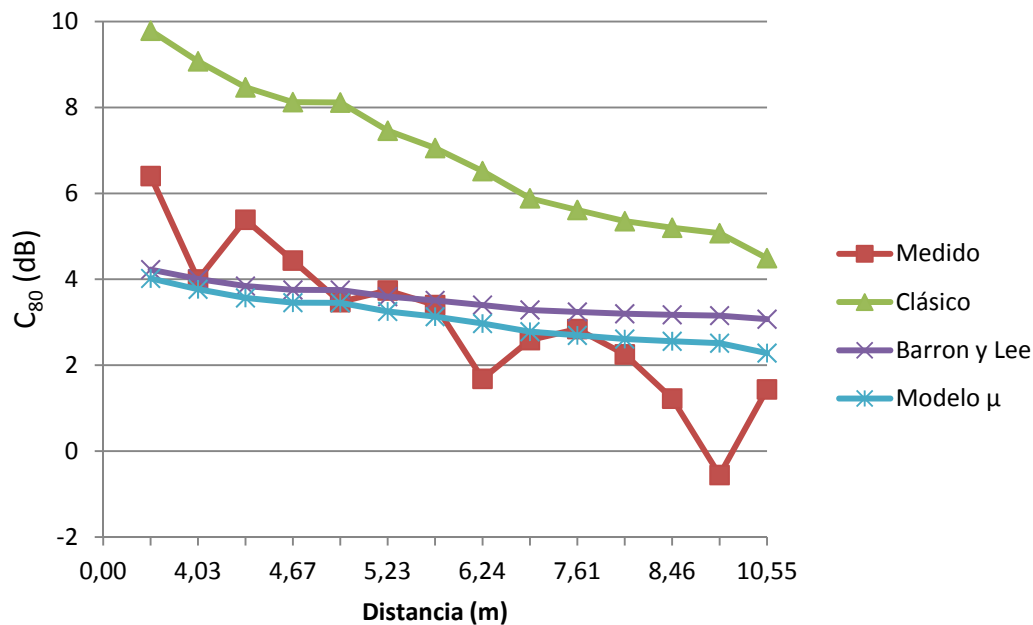


Figura 93. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F2

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente. Sin embargo, los valores medidos, al igual que ocurría para la Fuente 1, no muestran una pendiente uniforme, apareciendo muchas fluctuaciones.

Igualmente, se observa que los modelos teóricos, no se asemejan a la forma de la curva para los valores medidos.

Como se puede observar para altas frecuencias C_{80} , se mueve dentro de un rango de valores mayores que para medias y bajas frecuencias.

En todos los casos, el Modelo Clásico es el que más se aleja de los valores experimentales, con una acentuada pendiente, mientras el de Barron y Lee y el Modelo μ , son los que se me aproximan. No obstante, no se asemejan de forma significativa, ni a la curva ni a los valores medidos in situ. Para ambos casos, se encuentran diferencias de hasta 5,36 dB y 4,98 dB, respectivamente.

Fuente 3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	11,16	-2,50	2,18	-0,55	-1,04
M2	7,99	-1,13	3,83	-0,43	-0,77
M3	6,05	0,23	5,54	-0,25	-0,50
M4	4,44	-0,03	7,73	0,09	-0,08
M5	3,74	1,36	9,02	0,36	0,22
M6	7,34	0,88	4,33	-0,38	-0,69
M7	10,55	0,15	2,43	-0,53	-1,00
M8	6,94	-0,67	4,66	-0,35	-0,64
M9	4,67	2,08	7,35	0,02	-0,16
M10	3,43	0,64	9,71	0,53	0,41
M11	7,97	-2,23	3,85	-0,42	-0,76
M12	4,87	-1,17	7,05	-0,03	-0,22
M13	-	-	-	-	-
M14	10,42	0,19	2,48	-0,53	-0,99
M15	13,95	-2,47	1,35	-0,60	-1,22

Tabla 58. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3

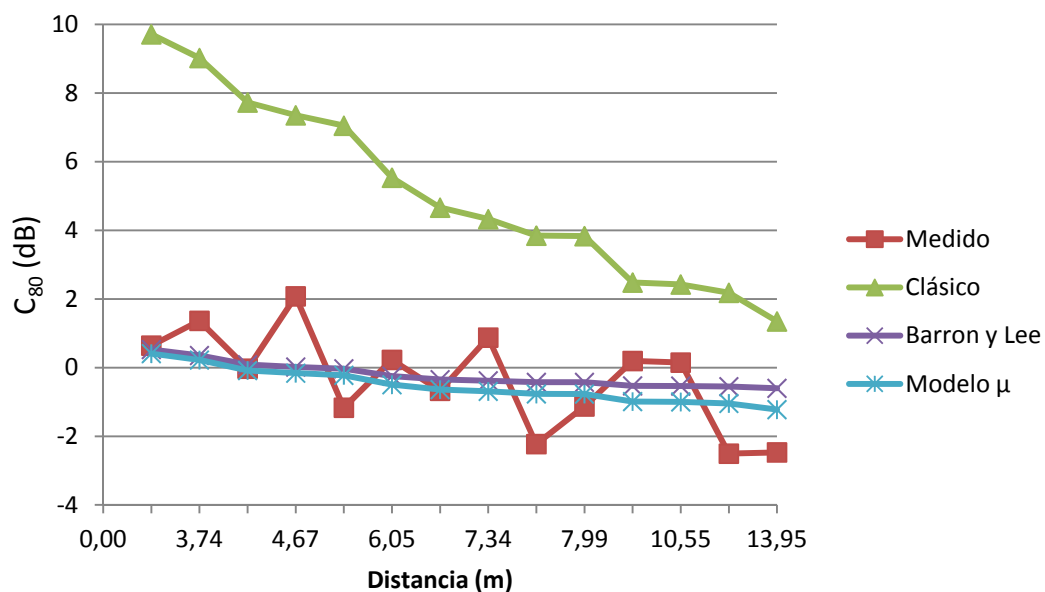


Figura 94. Comparativa de C80 a Bajas Frecuencias para F3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	11,16	-0,03	3,25	1,37	0,70
M2	7,99	0,44	4,59	1,51	1,05
M3	6,05	0,37	6,06	1,71	1,37
M4	4,44	1,86	8,05	2,07	1,85
M5	3,74	4,27	9,26	2,37	2,19
M6	7,34	0,48	5,01	1,56	1,14
M7	10,55	-0,58	3,44	1,38	0,76
M8	6,94	1,76	5,30	1,60	1,20
M9	4,67	4,10	7,71	2,00	1,76
M10	3,43	3,94	9,92	2,55	2,40
M11	7,97	1,86	4,60	1,51	1,05
M12	4,87	3,34	7,43	1,94	1,69
M13	-	-	-	-	-
M14	10,42	1,15	3,49	1,39	0,77
M15	13,95	-1,21	2,61	1,31	0,47

Tabla 59. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3

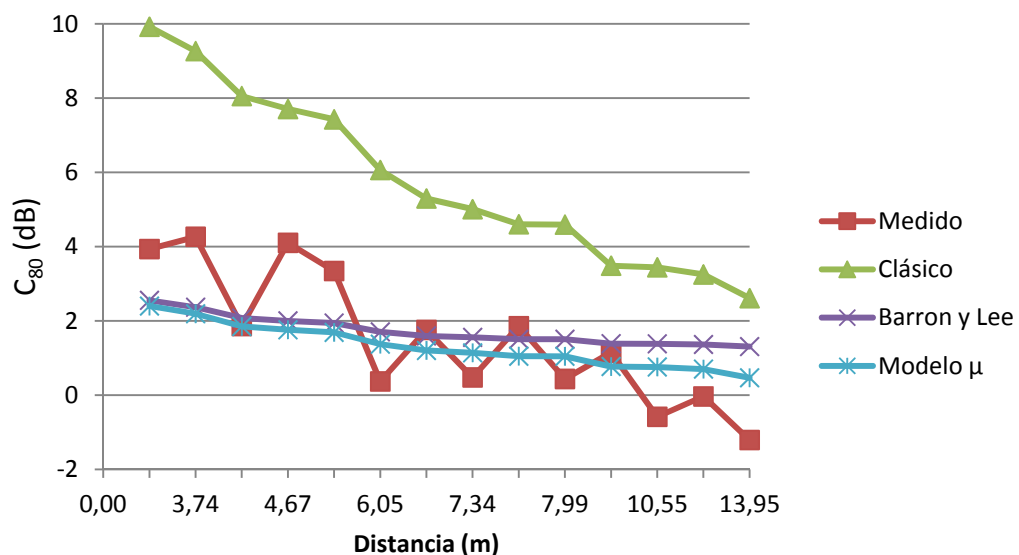
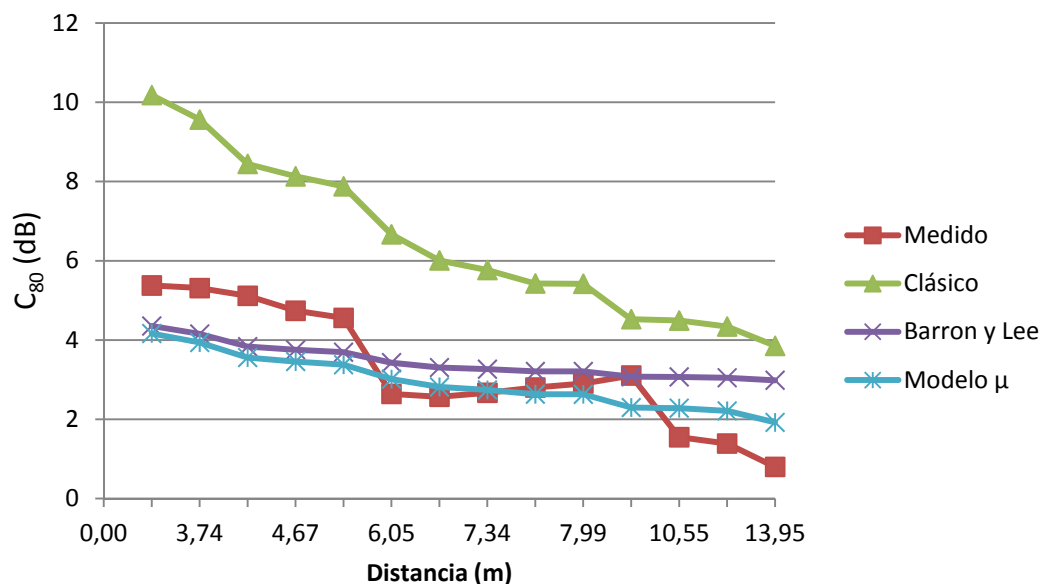


Figura 95. Comparativa de C80 a Medias Frecuencias para F3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	11,16	1,39	4,34	3,05	2,21
M2	7,99	2,90	5,42	3,21	2,63
M3	6,05	2,64	6,67	3,43	3,01
M4	4,44	5,12	8,45	3,84	3,56
M5	3,74	5,31	9,56	4,16	3,94
M6	7,34	2,67	5,77	3,27	2,74
M7	10,55	1,55	4,49	3,07	2,28
M8	6,94	2,57	6,01	3,31	2,82
M9	4,67	4,74	8,13	3,75	3,46
M10	3,43	5,38	10,18	4,36	4,17
M11	7,97	2,80	5,43	3,21	2,63
M12	4,87	4,56	7,88	3,69	3,38
M13	-	-	-	-	-
M14	10,42	3,10	4,53	3,08	2,30
M15	13,95	0,80	3,85	2,99	1,92

Tabla 60. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3

Figura 96. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F3

La tendencia de las 3 teorías, se mantiene decreciente con la distancia a la fuente, al igual que ocurría en los casos anteriores. De la misma forma, los valores medidos, no muestran una tendencia muy uniforme.

Igualmente, se observa que los modelos teóricos, no se asemejan a la forma de la curva para los valores medidos. No obstante, para las 3 bandas de frecuencias los valores teóricos se comportan de la misma forma.

Para altas frecuencias C80, se mueve dentro de un rango de valores mayores que para medias y bajas frecuencias.

El Modelo Clásico es el que más se aleja de los valores experimentales, con una pendiente muy marcada. Por otro lado, el Modelo de Barron y Lee y el Modelo μ , de nuevo, son los que se más se aproximan.

Aún así, siguen estando bastante distanciados de los valores medidos, encontrándose diferencias de entre 2 y 3 dB para ambos modelos, con respecto a los valores experimentales.

A continuación, en las siguientes figuras se muestra el plano de planta de la iglesia, con los valores diferenciales para cada una de las teorías en relación a los medidos, clasificados en rangos de valores, que se representan mediante el siguiente código de colores:

- En el caso de C80, los puntos de medida se representarán según la siguiente codificación de colores, según el rango en el que se encuentre la diferencia del valor calculado con respecto al valor medido:
 - Por debajo de 2dB, se representa en verde
 - Entre 2dB y 4dB, se representa en naranja
 - Por encima de los 4dB, se representa en rojo

Sólo se muestran los planos para medias frecuencias, por considerarse la banda de frecuencias más significativa y para la posición de Fuente 1, ya que para una misma fuente el comportamiento de los modelos es el mismo, sin embargo esta posición de fuente es la más relevante porque es donde se sitúa el orador habitualmente.

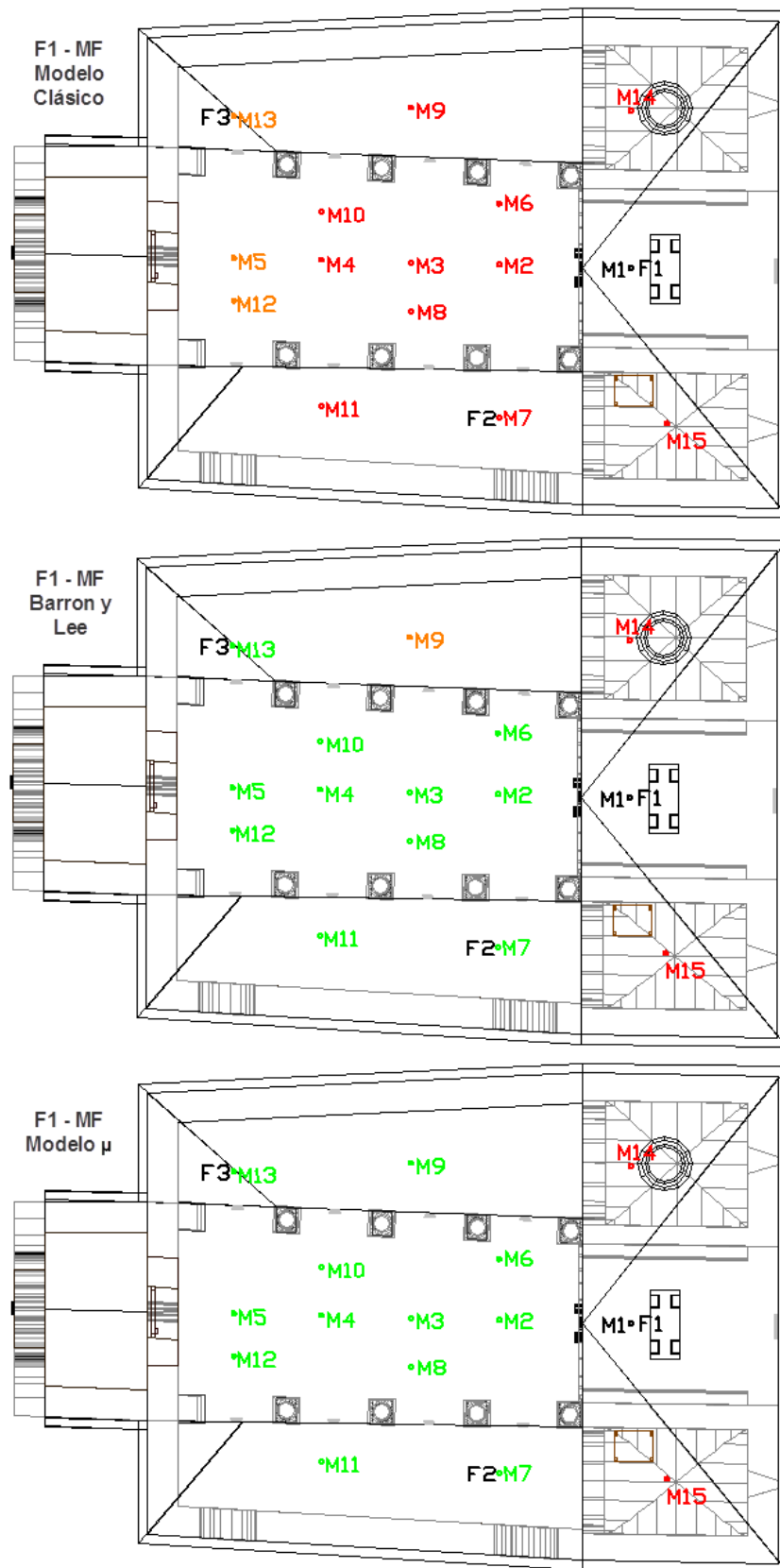


Figura 97. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias y para F1

5.1.2.1.1. Conclusiones para C_{80}

De los resultados obtenidos y expuestos se observan las siguientes conclusiones:

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, decrecen con el aumento de la distancia, si bien, el Modelo Clásico presenta una pendiente mucho más marcada

En términos generales, los valores para altas frecuencias se mueven en un rango de valores algo superiores, que para bajas y medias frecuencias.

Los valores obtenidos como resultado de aplicar el Modelo μ , son los que más se aproximan a los valores medidos, en todas las bandas de frecuencia, seguido por el de Barron y Lee, siendo el Modelo Clásico el que más se aleja.

Para el Modelo de Barron y Lee, la pendiente obtenida es la menos pronunciada, y sus valores oscilan dentro de un margen de 2 dB, entre el punto más cercano y el más alejado a la fuente.

Además, para Barron y Lee, el modelo teórico se acerca más a los valores experimentales, sobre todo a bajas frecuencias donde T_{30} es mayor.

Es el Modelo μ , el que mejor se aproxima a los valores medidos in situ, de forma más constante en las 3 bandas de frecuencia. Sin embargo, hay puntos en los que la diferencia se sitúa por encima de los 4dB.

No obstante, a la vista de los resultados, aunque la tendencia de las 3 teorías con respecto a la distancia es la misma que la que siguen los valores medidos, aparecen en algunos puntos diferencias muy elevadas, para establecer alguna de ellas como modelo de propagación del sonido en este caso.

5.1.2.2. Valores calculados para G

Fuente 1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	3,48	21,15	18,39	18,09	17,98
M3	5,77	20,05	18,04	17,51	17,37
M4	8,12	20,02	17,94	17,18	16,99
M5	10,42	20,29	17,90	16,91	16,68
M6	3,87	19,96	18,28	17,95	17,83
M7	5,24	20,19	18,08	17,61	17,47
M8	5,88	18,43	18,03	17,49	17,35
M9	7,15	19,39	17,97	17,30	17,13
M10	8,25	19,49	17,93	17,16	16,97
M11	8,89	18,54	17,92	17,08	16,88
M12	10,46	19,61	17,90	16,91	16,68
M13	11,16	19,14	17,89	16,83	16,59
M14	4,15	17,80	18,23	17,87	17,74
M15	4,20	16,57	18,22	17,85	17,73

Tabla 61. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1

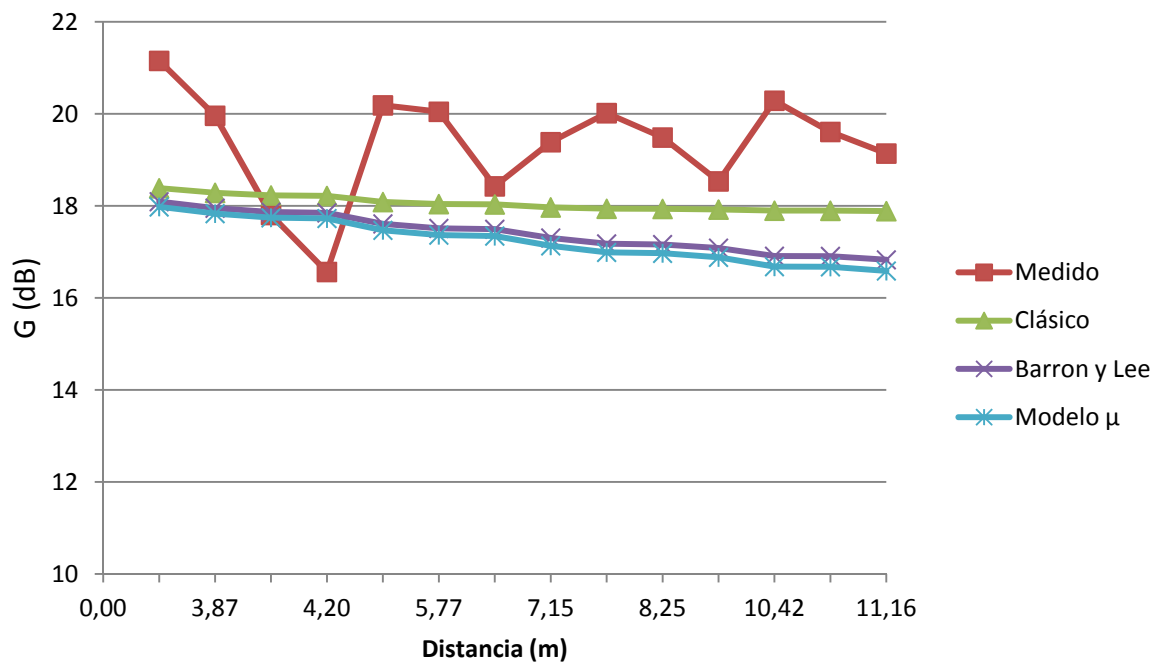


Figura 98. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G(dB) a Medias Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	3,48	20,06	17,23	16,85	16,65
M3	5,77	19,26	16,77	16,07	15,81
M4	8,12	17,60	16,63	15,61	15,29
M5	10,42	17,63	16,58	15,24	14,85
M6	3,87	19,56	17,10	16,66	16,45
M7	5,24	18,52	16,83	16,20	15,96
M8	5,88	18,32	16,76	16,04	15,79
M9	7,15	17,46	16,67	15,78	15,49
M10	8,25	17,23	16,63	15,59	15,26
M11	8,89	17,32	16,61	15,48	15,14
M12	10,46	17,25	16,58	15,24	14,85
M13	11,16	16,68	16,57	15,13	14,72
M14	4,15	15,84	17,02	16,54	16,33
M15	4,20	15,40	17,01	16,52	16,31

Tabla 62. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1

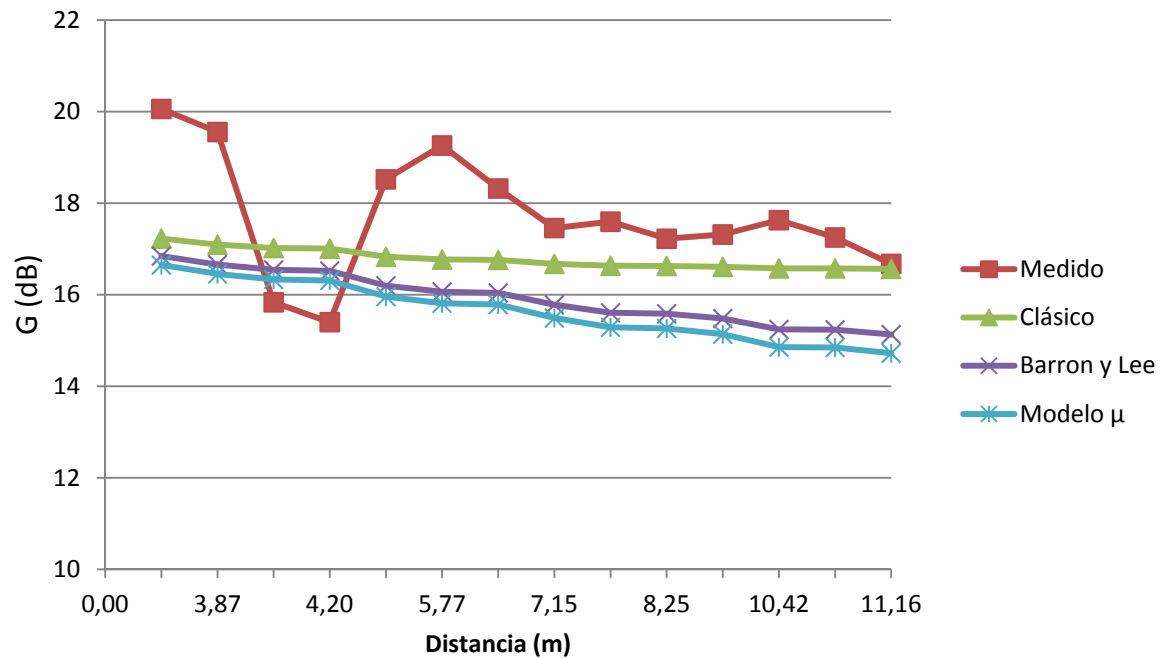


Figura 99. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G(dB) a Altas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	3,48	19,70	16,35	15,89	15,59
M3	5,77	17,65	15,78	14,90	14,52
M4	8,12	16,98	15,61	14,32	13,84
M5	10,42	16,84	15,54	13,85	13,27
M6	3,87	19,28	16,19	15,65	15,34
M7	5,24	17,56	15,86	15,07	14,71
M8	5,88	17,45	15,77	14,87	14,48
M9	7,15	16,95	15,66	14,54	14,10
M10	8,25	16,31	15,60	14,29	13,80
M11	8,89	16,74	15,58	14,15	13,64
M12	10,46	16,02	15,54	13,84	13,26
M13	11,16	15,78	15,52	13,71	13,09
M14	4,15	14,81	16,10	15,51	15,19
M15	4,20	14,23	16,08	15,48	15,16

Tabla 63. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1

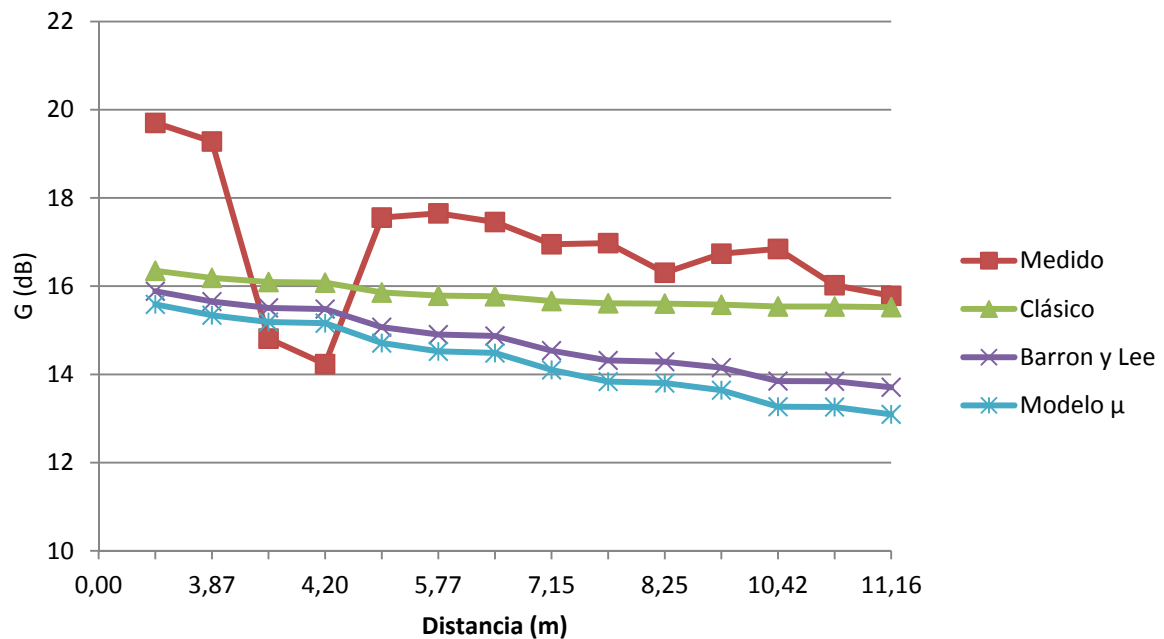


Figura 100. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F1

Como se puede observar, al contrario que para la claridad, para G, se mueve dentro de un rango de valores mayor a bajas frecuencias que a medias o altas.

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente. Sin embargo, los valores medidos, no muestran una pendiente uniforme, viéndose que los modelos teóricos, no se asemejan a la forma de la curva para los valores medidos.

En todos los casos, el Modelo Clásico es el que más se aproxima a los valores experimentales, sobre todo según aumenta la distancia a la fuente, si bien, se encuentran diferencias por encima de los 3dB. Y es para medias frecuencias donde las diferencias son menores.

Fuente 2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,23	19,70	18,08	17,61	17,47
M2	4,03	21,36	18,25	17,90	17,78
M3	4,68	20,97	18,15	17,73	17,60
M4	6,24	19,80	18,01	17,44	17,28
M5	8,13	20,33	17,94	17,18	16,99
M6	5,62	20,23	18,05	17,54	17,39
M7	-	-	-	-	-
M8	3,63	21,41	18,34	18,04	17,92
M9	8,46	20,11	17,93	17,14	16,94
M10	7,14	19,74	17,97	17,31	17,14
M11	4,67	22,27	18,15	17,73	17,60
M12	7,61	21,03	17,95	17,24	17,06
M13	10,55	19,18	17,89	16,90	16,66
M14	8,77	18,20	17,92	17,10	16,90
M15	4,42	22,67	18,18	17,79	17,67

Tabla 64. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2

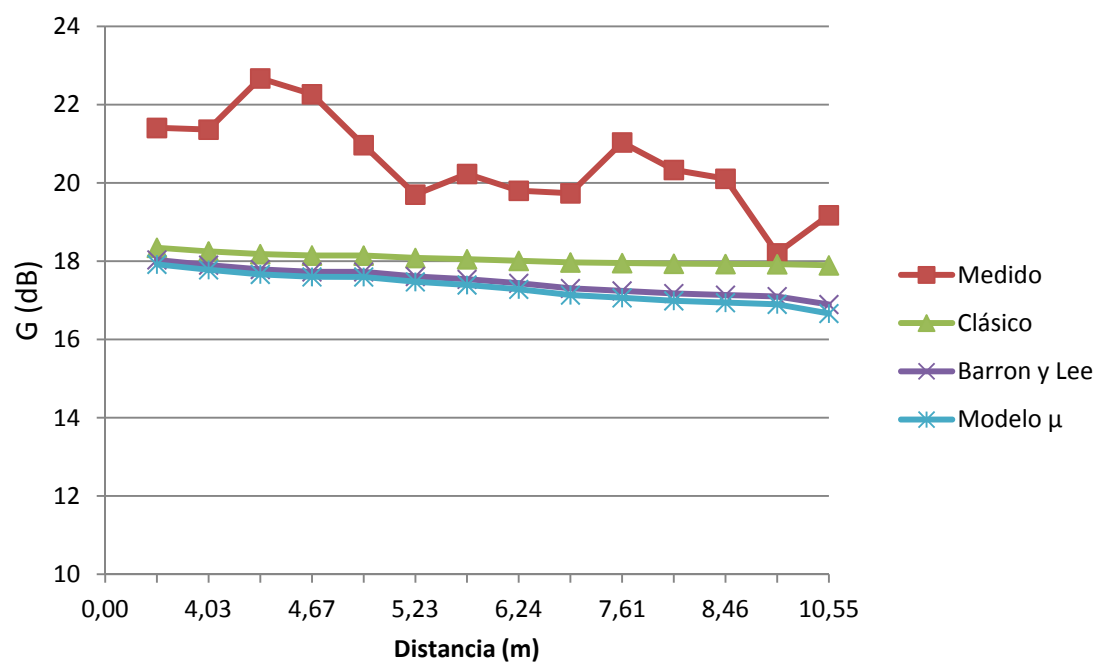


Figura 101. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,23	18,78	16,83	16,20	15,96
M2	4,03	18,78	17,05	16,59	16,38
M3	4,68	18,21	16,91	16,36	16,14
M4	6,24	17,91	16,73	15,96	15,70
M5	8,13	17,48	16,63	15,61	15,29
M6	5,62	17,53	16,79	16,10	15,85
M7	-	-	-	-	-
M8	3,63	19,29	17,17	16,77	16,57
M9	8,46	16,73	16,62	15,55	15,22
M10	7,14	17,02	16,68	15,78	15,49
M11	4,67	19,45	16,91	16,36	16,14
M12	7,61	17,16	16,65	15,70	15,39
M13	10,55	15,60	16,57	15,22	14,83
M14	8,77	15,15	16,61	15,50	15,16
M15	4,42	20,83	16,96	16,44	16,23

Tabla 65. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2

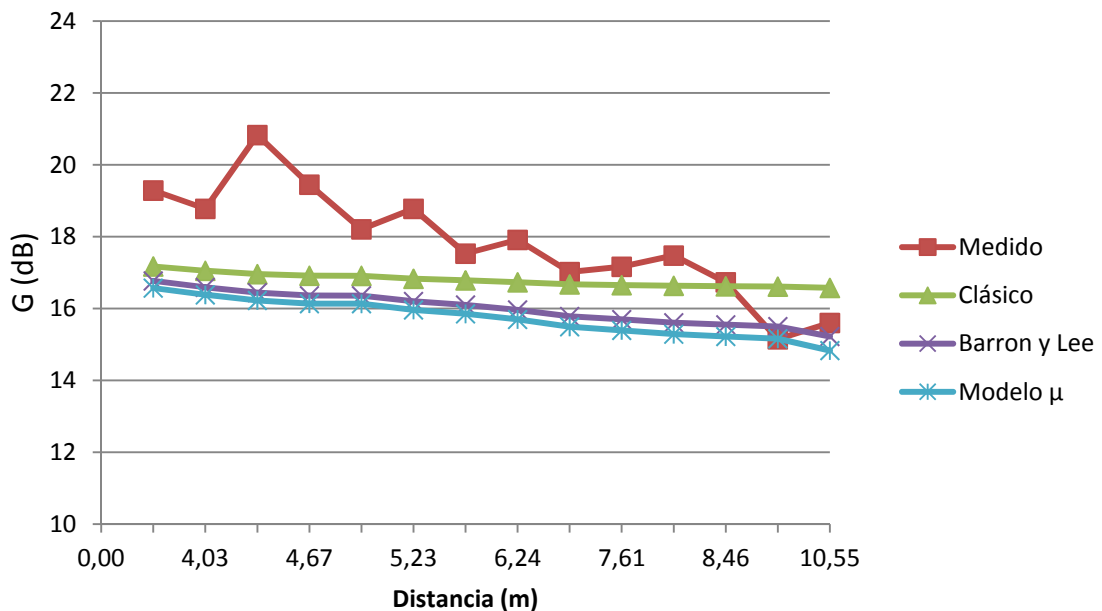


Figura 102. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Altas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	5,23	18,29	15,86	15,07	14,71
M2	4,03	18,44	16,13	15,57	15,25
M3	4,68	17,57	15,96	15,27	14,94
M4	6,24	16,44	15,73	14,77	14,37
M5	8,13	16,35	15,61	14,32	13,84
M6	5,62	17,55	15,80	14,95	14,57
M7	-	-	-	-	-
M8	3,63	20,07	16,28	15,79	15,49
M9	8,46	15,25	15,60	14,24	13,75
M10	7,14	16,30	15,66	14,54	14,10
M11	4,67	19,10	15,96	15,28	14,94
M12	7,61	16,83	15,64	14,43	13,97
M13	10,55	15,29	15,54	13,82	13,24
M14	8,77	14,37	15,58	14,18	13,67
M15	4,42	21,10	16,02	15,38	15,05

Tabla 66. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2

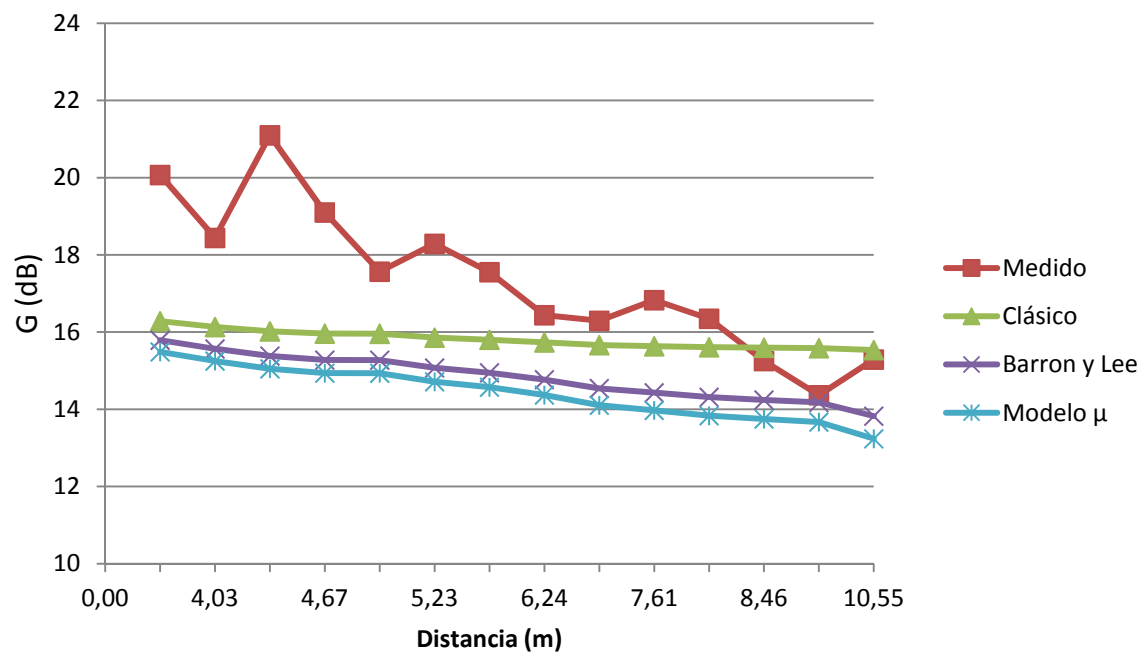


Figura 103. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F2

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente, al igual que ocurría para la Fuente 1. Sin embargo, los valores medidos, al igual que ocurría para la Fuente 1, no muestran una pendiente muy uniforme, aunque sí algo más que para aquellos.

Igualmente, se observa que la caída para los valores teóricos, no se asemeja a la de los valores medidos.

El Modelo Clásico es el que más se aproxima a los valores experimentales, en la parte más alejada de la fuente. Aún así, para el Modelo, se encuentran diferencias por encima de los 4dB, siendo en medias frecuencias donde las diferencias son más pequeñas.

Fuente 3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	11,16	18,86	17,89	16,83	16,59
M2	7,99	20,23	17,94	17,19	17,01
M3	6,05	20,46	18,02	17,47	17,31
M4	4,44	20,37	18,18	17,79	17,66
M5	3,74	21,54	18,31	17,99	17,88
M6	7,34	21,68	17,96	17,28	17,10
M7	10,55	19,84	17,89	16,90	16,66
M8	6,94	20,23	17,98	17,33	17,17
M9	4,67	23,71	18,15	17,73	17,60
M10	3,43	21,50	18,40	18,11	18,00
M11	7,97	21,41	17,94	17,20	17,01
M12	4,87	19,32	18,12	17,69	17,55
M13	-	-	-	-	-
M14	10,42	22,10	17,90	16,91	16,68
M15	13,95	17,00	17,87	16,54	16,24

Tabla 67. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3

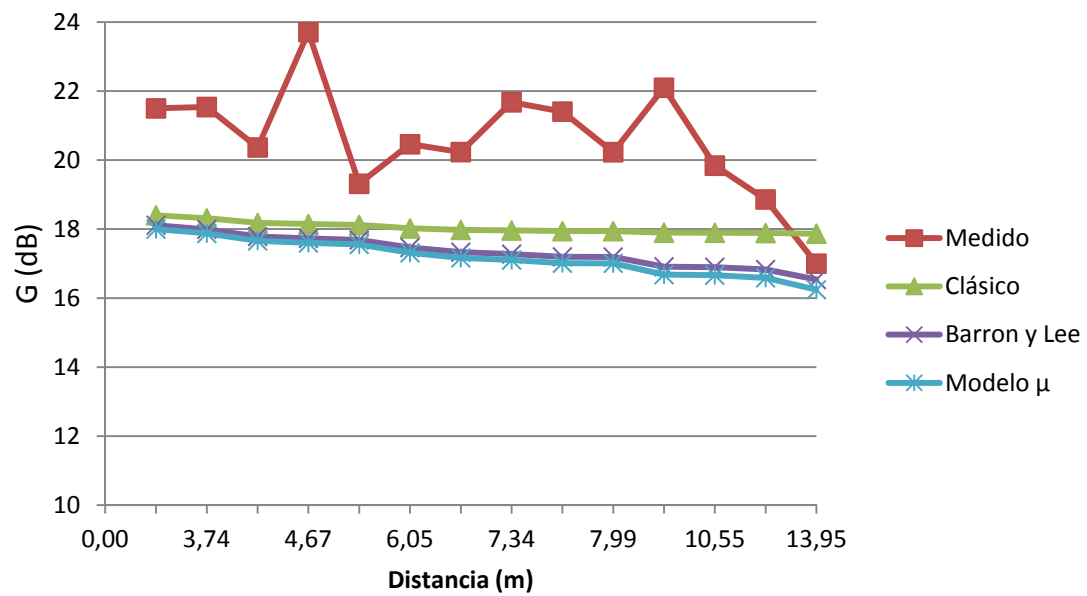


Figura 104. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	11,16	16,49	16,57	15,13	14,72
M2	7,99	17,08	16,64	15,63	15,32
M3	6,05	17,29	16,75	16,00	15,74
M4	4,44	18,57	16,96	16,44	16,22
M5	3,74	19,89	17,13	16,71	16,51
M6	7,34	17,13	16,67	15,75	15,45
M7	10,55	16,66	16,57	15,22	14,83
M8	6,94	17,42	16,69	15,82	15,54
M9	4,67	19,45	16,91	16,36	16,14
M10	3,43	19,27	17,25	16,87	16,68
M11	7,97	17,08	16,64	15,63	15,32
M12	4,87	18,61	16,88	16,30	16,07
M13	-	-	-	-	-
M14	10,42	18,08	16,58	15,24	14,85
M15	13,95	14,54	16,54	14,74	14,24

Tabla 68. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3

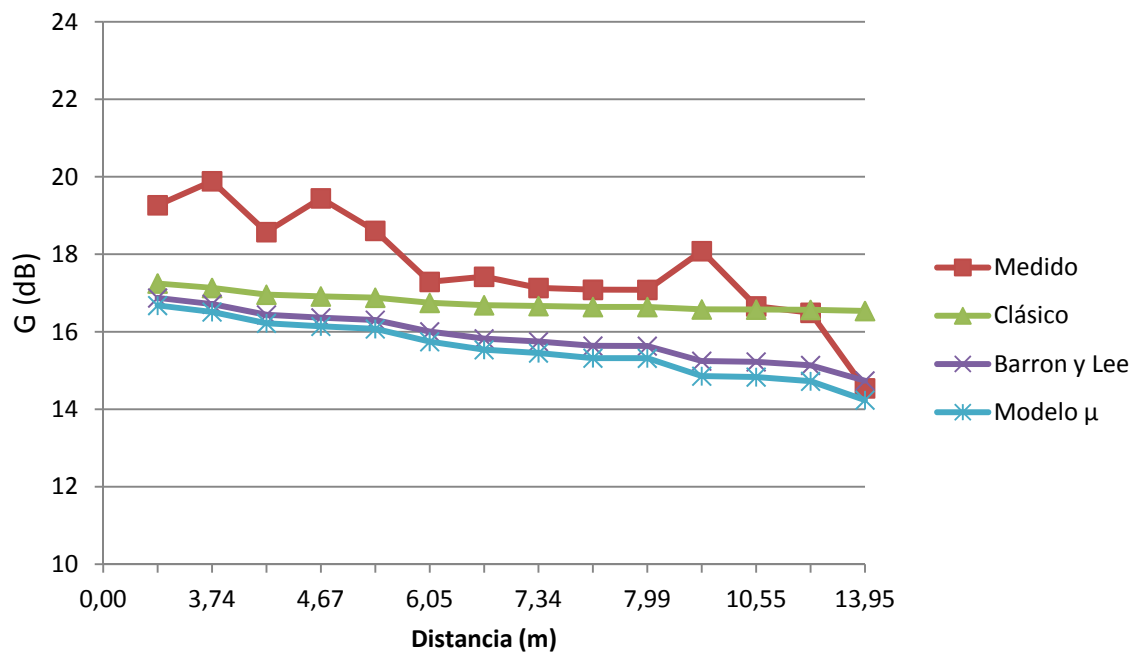


Figura 105. . Comparativa de G a Medias Frecuencias para F3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	G (dB) a Altas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	11,16	15,58	15,52	13,71	13,09
M2	7,99	16,85	15,62	14,35	13,87
M3	6,05	17,13	15,75	14,82	14,43
M4	4,44	19,12	16,02	15,37	15,04
M5	3,74	19,27	16,23	15,72	15,41
M6	7,34	16,54	15,65	14,49	14,05
M7	10,55	15,32	15,54	13,82	13,24
M8	6,94	16,36	15,68	14,59	14,16
M9	4,67	19,06	15,96	15,28	14,94
M10	3,43	19,12	16,37	15,92	15,62
M11	7,97	16,42	15,62	14,35	13,88
M12	4,87	18,01	15,92	15,20	14,86
M13	-	-	-	-	-
M14	10,42	17,62	15,54	13,85	13,27
M15	13,95	14,05	15,49	13,20	12,46

Tabla 69. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3

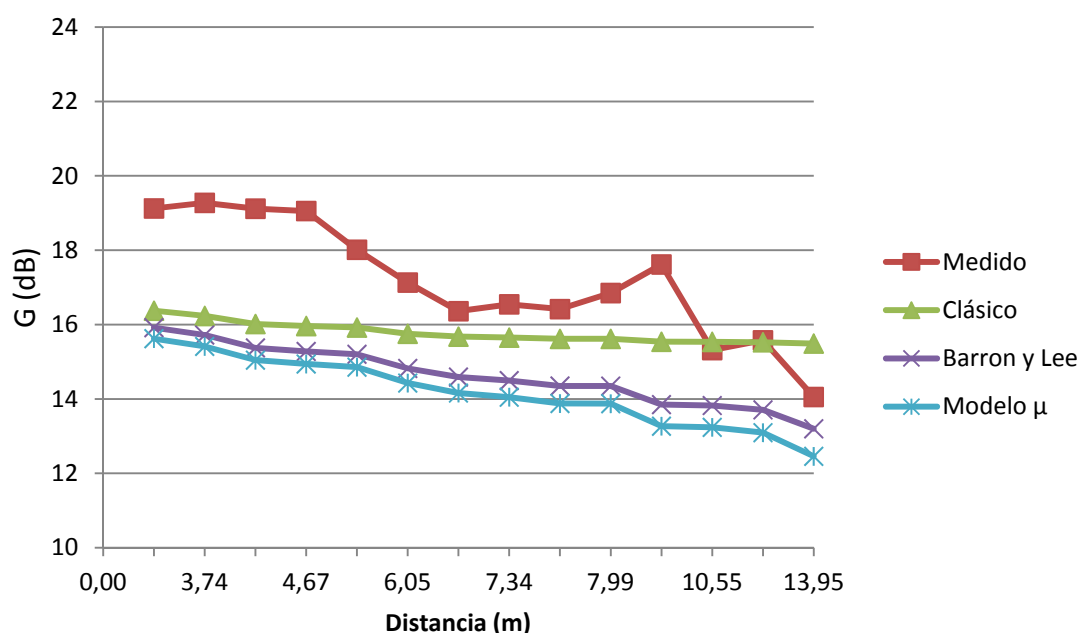


Figura 106. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F3

La tendencia de las 3 teorías, se mantiene decreciente con la distancia a la fuente, al igual que ocurría en los casos anteriores. De la misma forma, los valores medidos, no muestran una tendencia muy uniforme.

Igualmente, se observa que los modelos teóricos, no se asemejan a la forma de la curva para los valores medidos.

Para bajas frecuencias G, se mueve dentro de un rango de valores mayor que para medias y altas frecuencias.

El Modelo Clásico es el que más se aproxima a los valores experimentales, sobre todo a frecuencias medias, banda en la que la máxima diferencia es de 2,75 dB.

Aún así, en general, sigue estando bastante distanciado de los valores medidos, encontrándose diferencias de entre 4 y 5 dB, con respecto a los valores experimentales.

A continuación, en las siguientes figuras se muestra el plano de planta de la iglesia, con los valores diferenciales para cada una de las teorías en relación a los medidos, clasificados en rangos de valores, que se representan mediante la misma clasificación que para C_{80} .

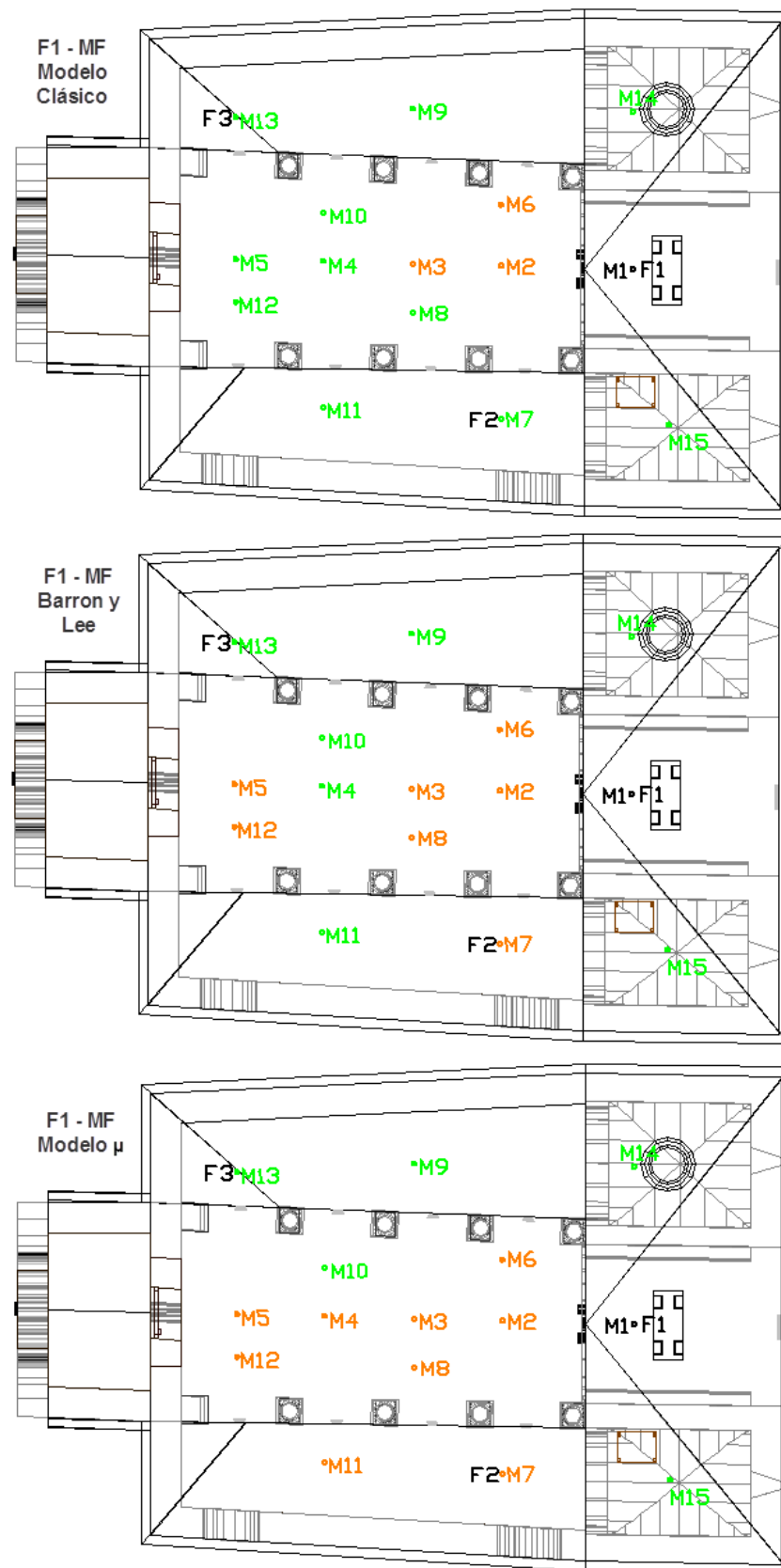


Figura 107. Diferencia para G a Medias Frecuencias y para F1

5.1.2.2.1. Conclusiones para G

A la vista de los resultados se llega a las siguientes conclusiones:

Para bajas frecuencias, el rango de valores en el que se mueven los resultados tanto medidos como calculados, es mayor, que para medias y estos a su vez están por encima del rango a altas frecuencias.

Para todas las bandas de frecuencias, los valores decrecen con la distancia, si bien, siendo los valores obtenidos mediante el Modelo Clásico los que lo hacen con una pendiente menos pronunciada. En cambio, para los valores medidos, aunque se aprecia su disminución con el aumento de la distancia, no lo hacen de forma uniforme.

Al contrario que para la claridad, para la sonoridad, se observa que es el Modelo Clásico el que más se asemeja a los valores medidos sin situ. Si bien, en la banda en la que mejor se comportan las 3 teorías es la de medias frecuencias.

En este caso, son los valores del Modelo μ , los que más se alejan de los valores experimentales.

No obstante, a pesar de las similitudes que guarda el Modelo Clásico, existen puntos en los que la diferencia está por encima de los 2 dB, llegando incluso a los 4 dB, lo que supone una diferencia muy elevada para establecerlo como modelo de propagación del espacio que nos ocupa.

5.1.3. Iglesia de San Pedro de la Nave

Para los cálculos realizados para la iglesia de San Pedro de la Nave se ha partido de los siguientes valores: un volumen de 780 m³, un μ de 0,096 y un T30 para cada banda de frecuencia con los siguientes valores:

- 1,42 s para la banda de Bajas Frecuencias.
- 1,18 s para la banda de Medias Frecuencias.
- 1,88 s para la banda de Altas Frecuencias.

A partir de estos valores y las distancias a los puntos de medida, se han calculado los valores de C_{80} y G para cada posición de micrófono, con cada una de las fuentes. Este proceso se ha repetido para bajas, medias y altas frecuencias.

5.1.3.1. Valores calculados para C_{80}

Fuente 1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	1,04	5,25	19,68	6,86	6,81
M2	5,01	-0,98	7,14	1,36	0,62
M3	7,42	-1,40	4,79	1,07	-0,11
M4	7,98	-2,62	4,41	1,03	-0,25
M5	9,50	-2,27	3,61	0,96	-0,59
M6	14,00	-2,58	2,31	0,87	-1,46

Tabla 70. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1

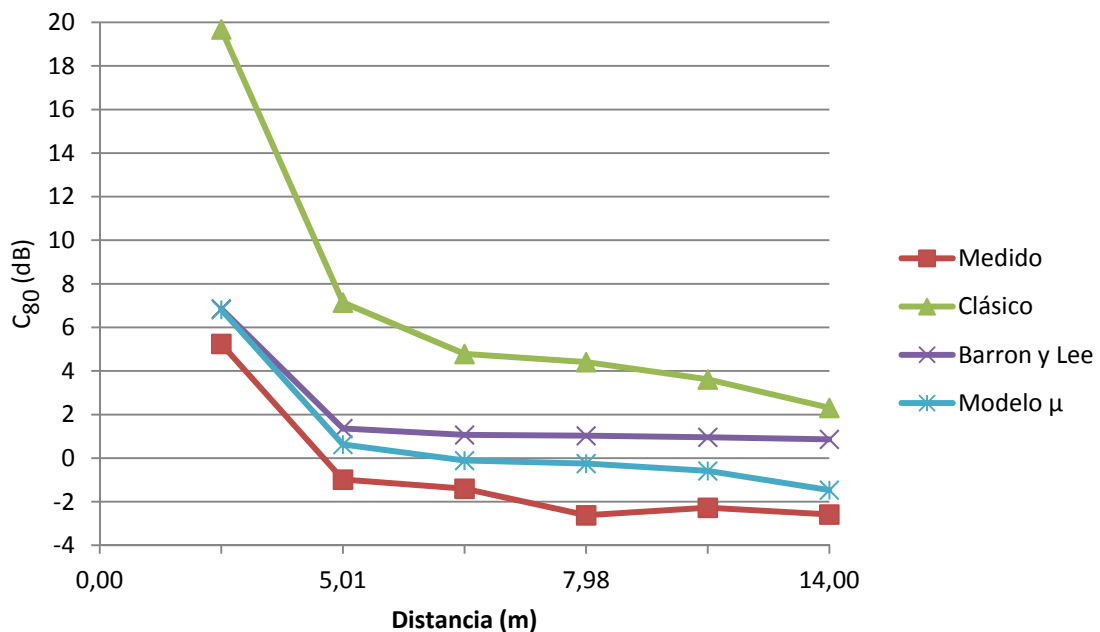
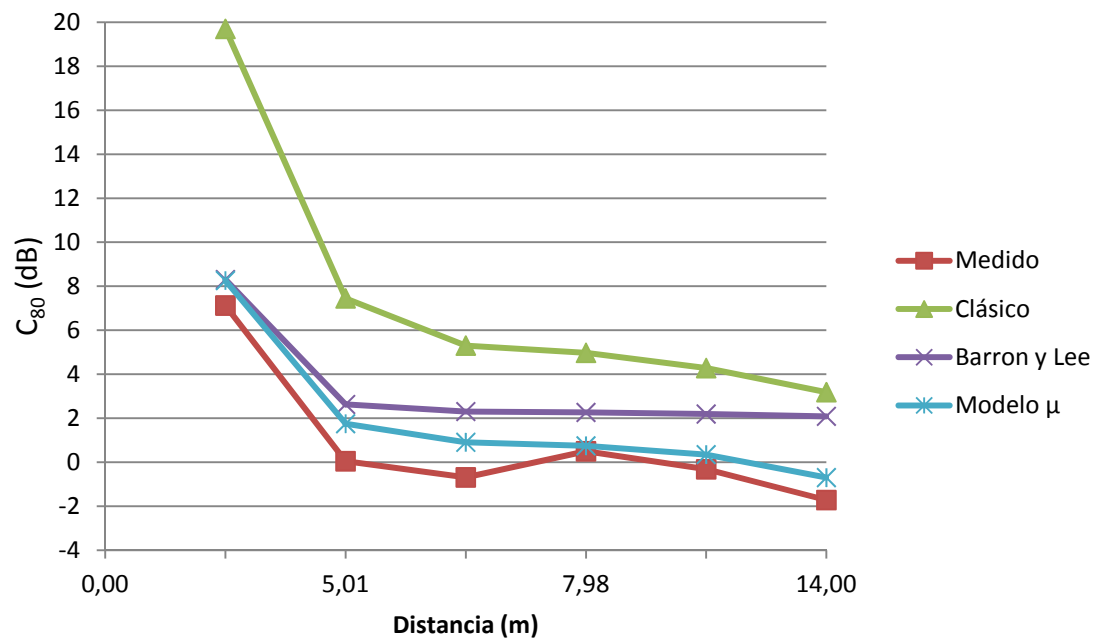


Figura 108. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F1

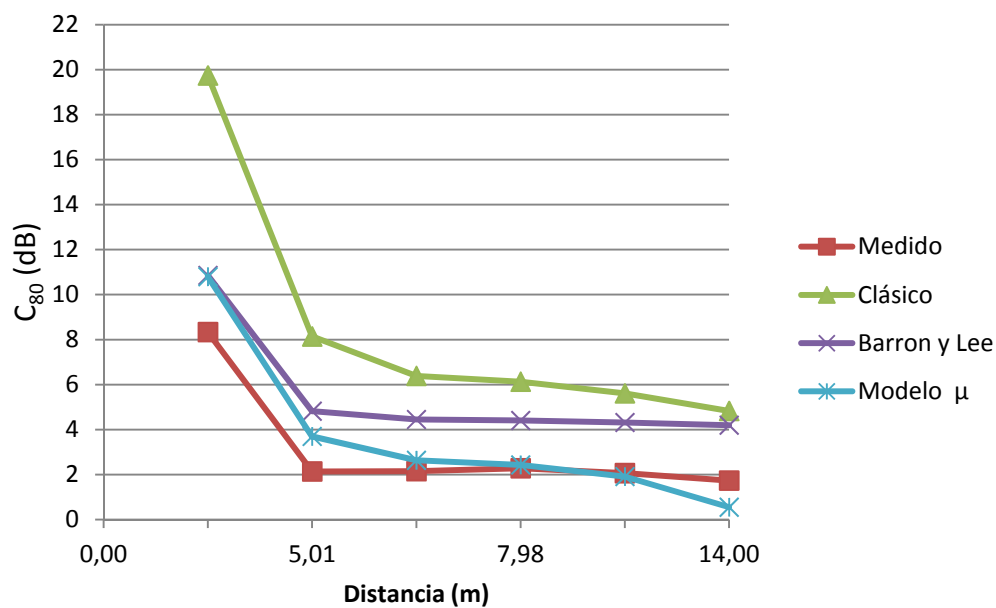
Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	1,04	7,13	19,70	8,31	8,26
M2	5,01	0,05	7,45	2,63	1,75
M3	7,42	-0,69	5,30	2,30	0,91
M4	7,98	0,50	4,97	2,27	0,75
M5	9,50	-0,32	4,28	2,19	0,35
M6	14,00	-1,72	3,18	2,09	-0,70

Tabla 71. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1

Figura 109. Comparativa de C₈₀ a Medias Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	1,04	8,33	19,74	10,86	10,80
M2	5,01	2,14	8,14	4,82	3,70
M3	7,42	2,15	6,38	4,45	2,63
M4	7,98	2,28	6,13	4,40	2,43
M5	9,50	2,06	5,61	4,32	1,91
M6	14,00	1,73	4,83	4,19	0,55

Tabla 72. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1

Figura 110. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F1

Como se puede observar para bajas frecuencias C_{80} , se mueve dentro de un rango de valores mayores que para medias y altas frecuencias.

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente, con una pendiente mínima, en el caso de los valores medidos y obtenidos mediante Barron y Lee.

Los valores calculados, siguen, de forma muy similar, la curva de los valores experimentales.

El Modelo Clásico es el que más se aleja de los valores medidos, mientras que el Modelo μ , es el más se aproxima, aunque presenta diferencias que llegan a 1,6 dB en medias frecuencias, 2,37 dB en bajas y 2,46 dB en altas.

Fuente 2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	13,00	-1,68	2,51	0,88	-1,28
M2	9,00	-0,98	3,85	0,98	-0,48
M3	7,60	0,58	4,66	1,05	-0,16
M4	8,15	-3,21	4,31	1,02	-0,29
M5	4,51	3,75	7,86	1,48	0,84
M6	-	-	-	-	-

Tabla 73. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2

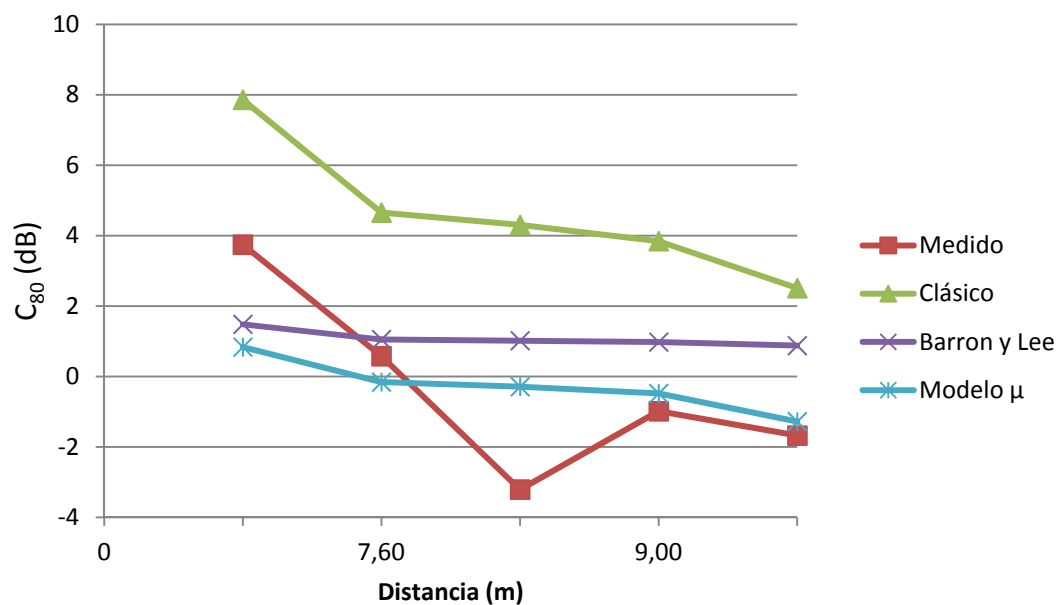
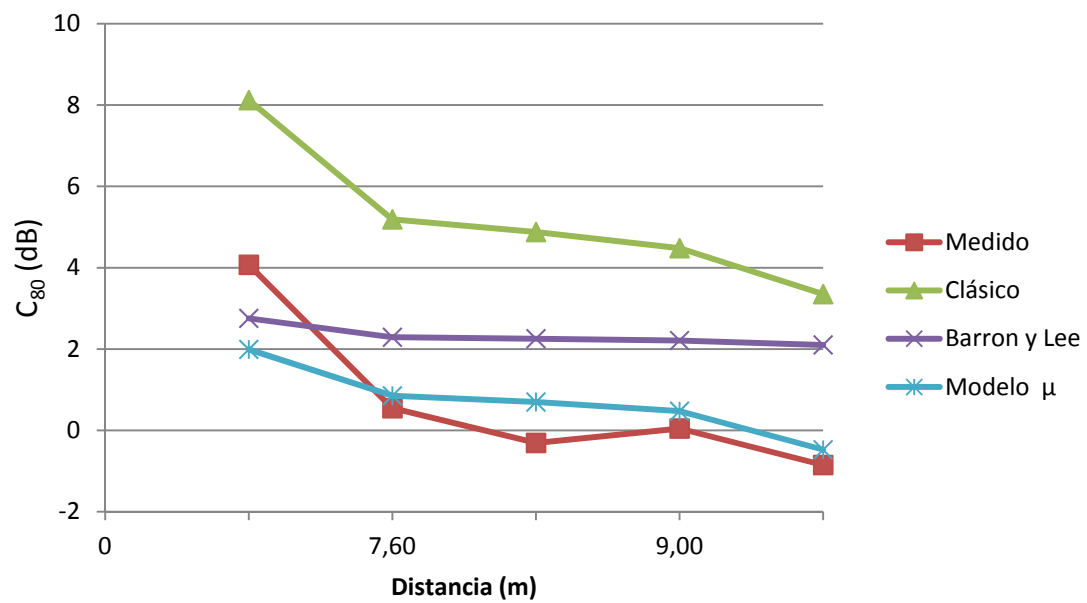


Figura 111. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C ₈₀ (dB) a Medias Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	13,00	-0,85	3,35	2,10	-0,48
M2	9,00	0,05	4,48	2,21	0,47
M3	7,60	0,54	5,19	2,29	0,85
M4	8,15	-0,31	4,88	2,25	0,70
M5	4,51	4,07	8,12	2,75	1,99
M6	-	-	-	-	-

Tabla 74. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2

Figura 112. Comparativa de C₈₀ a Medias Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	13,00	1,37	4,94	4,21	0,84
M2	9,00	2,14	5,76	4,34	2,08
M3	7,60	3,79	6,29	4,43	2,56
M4	8,15	2,44	6,06	4,39	2,37
M5	4,51	6,25	8,72	4,96	3,99
M6	-	-	-	-	-

Tabla 75. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2

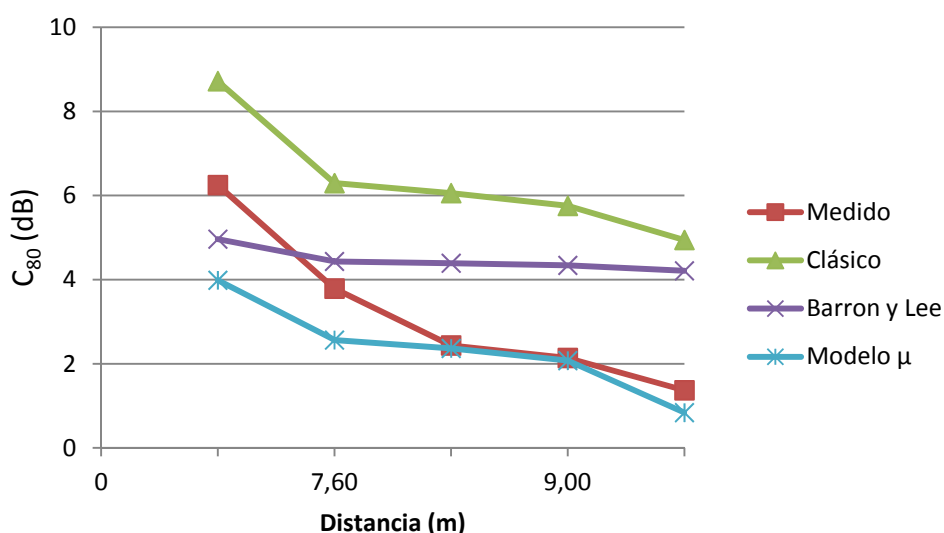


Figura 113. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F2

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente, si bien la pendiente de caída es mínima para el caso de Barron y Lee.

En todos los casos, el Modelo Clásico es el que más se aleja de los valores experimentales, con una acentuada pendiente, mientras que el Modelo μ , se aproxima de forma notable, sobre todo a frecuencias medias. Las diferencias máximas no superan en ningún caso los 3 dB, siendo de 2,92 dB para bajas frecuencias, 2,08 dB para medias y 2,26 dB para altas.

Fuente 3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	6,50	-0,70	5,52	1,14	0,13
M2	3,32	2,67	10,12	1,98	1,56
M3	-	-	-	-	-
M4	6,71	1,41	5,33	1,12	0,08
M5	3,76	2,44	9,17	1,75	1,24
M6	7,60	0,50	4,66	1,05	-0,16

Tabla 76. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3

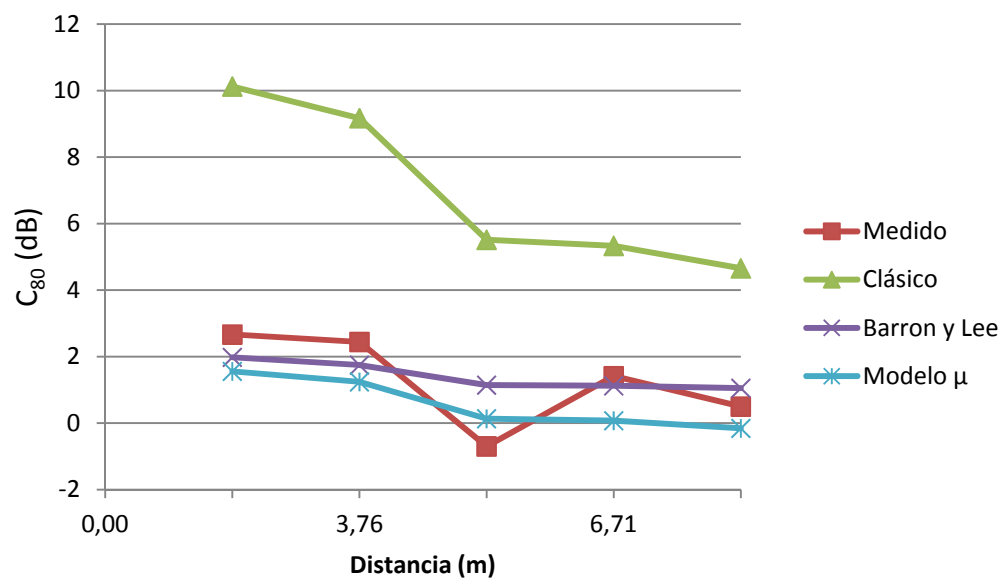
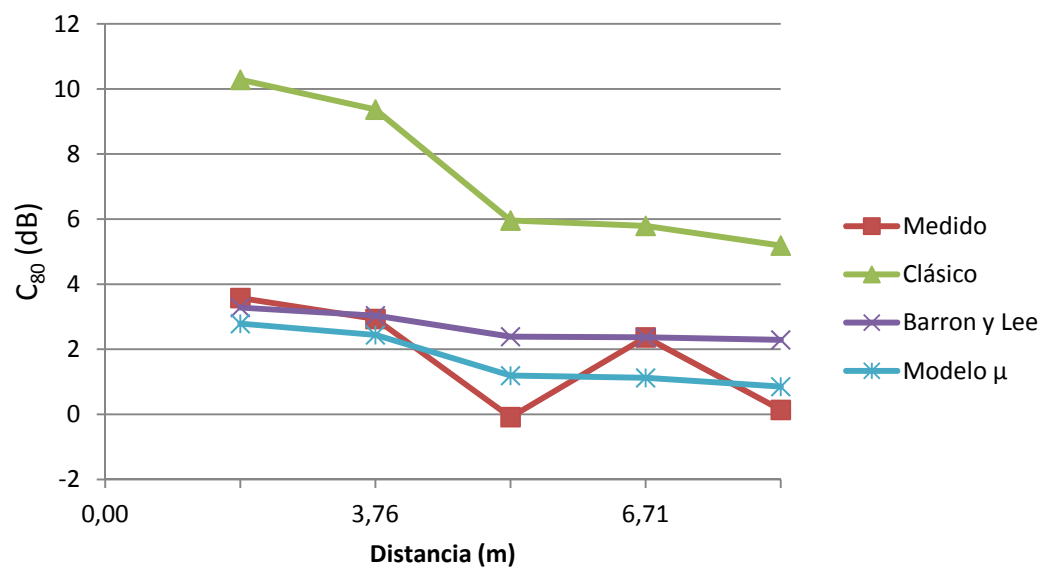


Figura 114. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F3

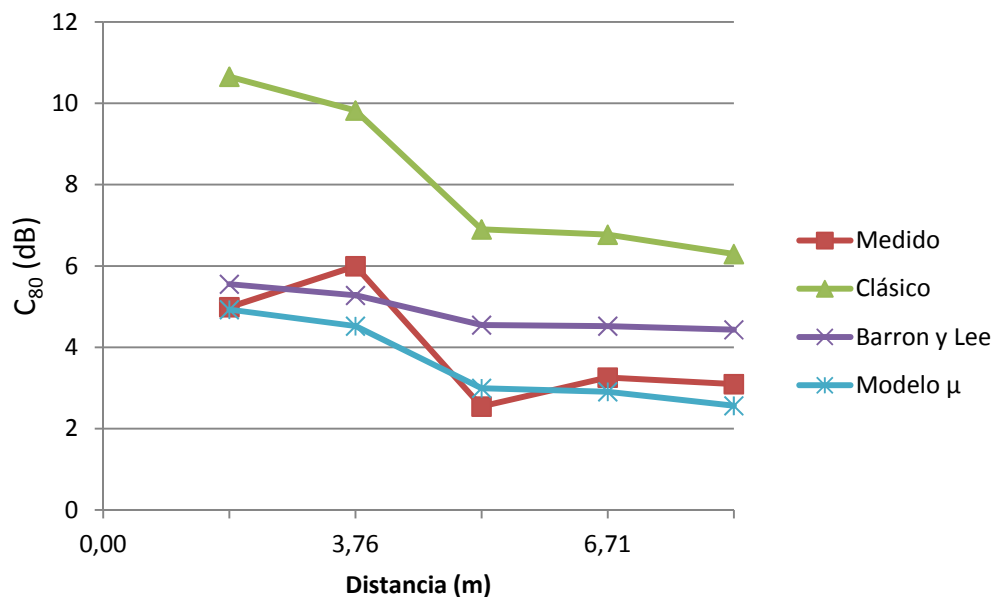
Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	6,50	-0,08	5,96	2,39	1,19
M2	3,32	3,58	10,28	3,28	2,79
M3	-	-	-	-	-
M4	6,71	2,37	5,79	2,37	1,12
M5	3,76	2,93	9,37	3,04	2,44
M6	7,60	0,14	5,19	2,29	0,85

Tabla 77. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3

Figura 115. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	6,50	2,54	6,90	4,55	2,99
M2	3,32	4,99	10,66	5,55	4,93
M3	0,00				
M4	6,71	3,26	6,77	4,52	2,91
M5	3,76	6,00	9,82	5,28	4,52
M6	7,60	3,10	6,29	4,43	2,56

Tabla 78. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3

Figura 116. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F3

La tendencia de las 3 teorías, se mantiene decreciente con la distancia a la fuente, al igual que ocurría en los casos anteriores. Sin embargo, los valores medidos, no muestran una caída muy uniforme.

Igualmente, se observa que los modelos teóricos, no se asemejan tanto a la forma de la curva para los valores medidos. No obstante, para las 3 bandas de frecuencias los valores teóricos se comportan de la misma forma.

Para altas frecuencias C_{80} , se mueve dentro de un rango de valores mayores que para medias y bajas frecuencias.

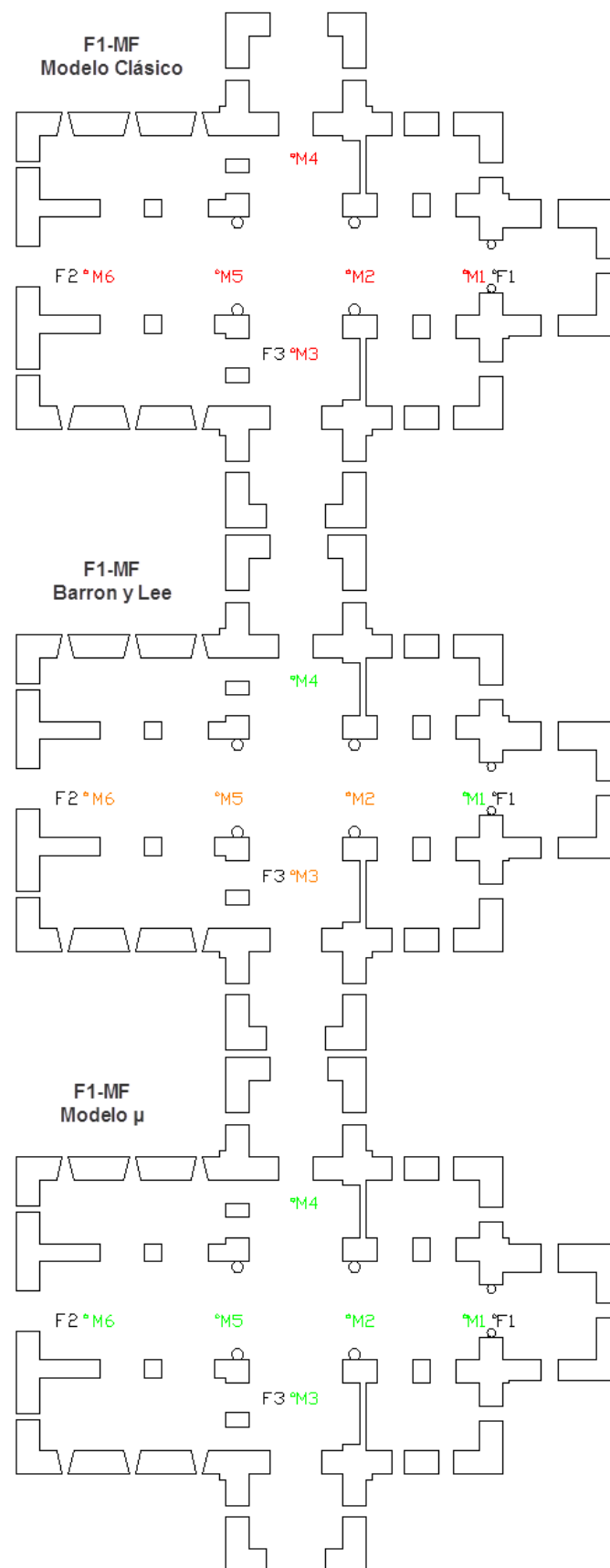
El Modelo Clásico es el que más se aleja de los valores experimentales, con una pendiente muy pronunciada. Por otro lado, el Modelo de Barron y Lee y el Modelo μ , de nuevo, son los que se más se aproximan, sobre todo a medias frecuencias.

Cabe destacar, que si bien muchos de los valores calculados según estos dos modelos están por debajo de los 2 dB, en alguno puntos se llega a una diferencia de 2,47 dB, en el caso de Barron y Lee, mientras que para el Modelo μ la máxima es de 1,87 dB.

A continuación, en las siguientes figuras se muestra el plano de planta de la iglesia, con los valores diferenciales para cada una de las teorías en relación a los medidos, clasificados en rangos de valores, que se representan mediante el siguiente código de colores:

- En el caso de C80, los puntos de medida se representarán según la siguiente codificación de colores, según el rango en el que se encuentre la diferencia del valor calculado con respecto al valor medido:
 - Por debajo de 2dB, se representa en verde
 - Entre 2dB y 4dB, se representa en naranja
 - Por encima de los 4dB, se representa en rojo

Sólo se muestran los planos para medias frecuencias, por considerarse la banda de frecuencias más significativa y para la posición de Fuente 1, ya que para una misma fuente el comportamiento de los modelos es el mismo, sin embargo esta posición de fuente es la más relevante porque es donde se sitúa el orador habitualmente.

**Figura 117. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias y para $F1$**

5.1.3.1.1. Conclusiones para C_{80}

A la vista de los resultados, se alcanzan las siguientes conclusiones:

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, decrecen con el aumento de la distancia, si bien, el Modelo Clásico presenta una pendiente mucho más acentuada.

En términos generales, los valores para altas frecuencias se mueven en un rango de valores superiores, que para bajas y medias frecuencias.

El Modelo μ , es el que más se aproxima a los valores medidos in situ , seguido por el de Barron y Lee, siendo el Modelo Clásico el que más se aleja con diferencia.

Para el Modelo de Barron y Lee, la pendiente obtenida es la menos pronunciada, y sus valores oscilan dentro de un margen de 2 dB, entre el punto más cercano y el más alejado a la fuente.

Aunque los valores calculado a partir del Modelo μ , son los que más se asemejan a los valores medidos in situ, hay puntos en los que la diferencia se sitúa por encima de los 2dB.

Por tanto, dado que las diferencias en algunos puntos son considerables, no se puede establecer ninguna de ellas como modelo de propagación del sonido para este espacio.

5.1.3.2. Valores calculados para G

Fuente 1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	1,04	28,94	21,71	21,66	21,49
M2	5,01	21,57	17,82	17,25	16,76
M3	7,42	19,63	17,67	16,79	16,11
M4	7,98	18,90	17,65	16,70	15,98
M5	9,50	21,19	17,61	16,47	15,63
M6	14,00	18,17	17,57	15,87	14,71

Tabla 79. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1

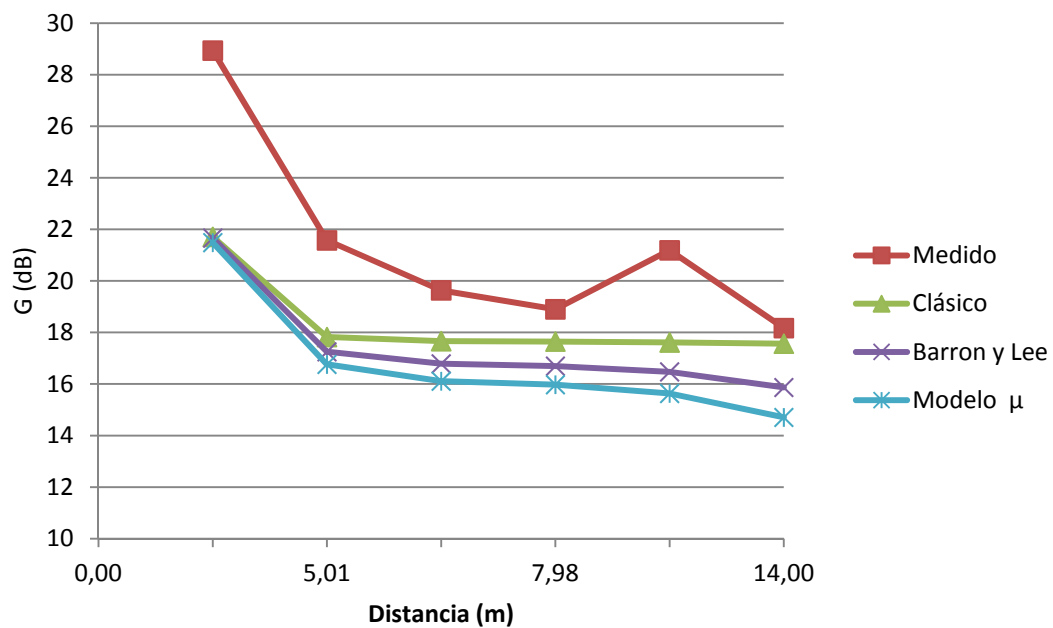


Figura 118. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	1,04	28,60	21,42	21,37	21,14
M2	5,01	18,16	17,07	16,40	15,73
M3	7,42	18,48	16,89	15,84	14,92
M4	7,98	19,04	16,86	15,73	14,75
M5	9,50	17,89	16,82	15,45	14,32
M6	14,00	16,21	16,77	14,73	13,16

Tabla 80. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1

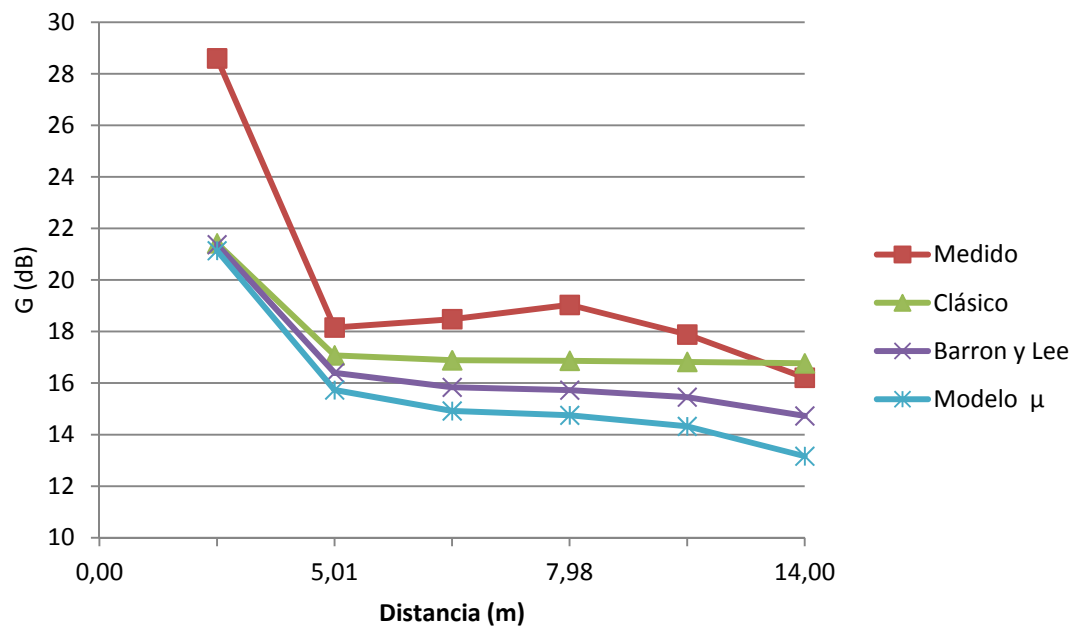


Figura 119. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) a Altas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	1,04	26,53	21,04	20,98	20,63
M2	5,01	15,91	15,93	15,05	14,00
M3	7,42	17,47	15,68	14,31	12,86
M4	7,98	17,78	15,65	14,16	12,62
M5	9,50	16,01	15,60	13,79	12,01
M6	14,00	14,00	15,53	12,82	10,38

Tabla 81. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1

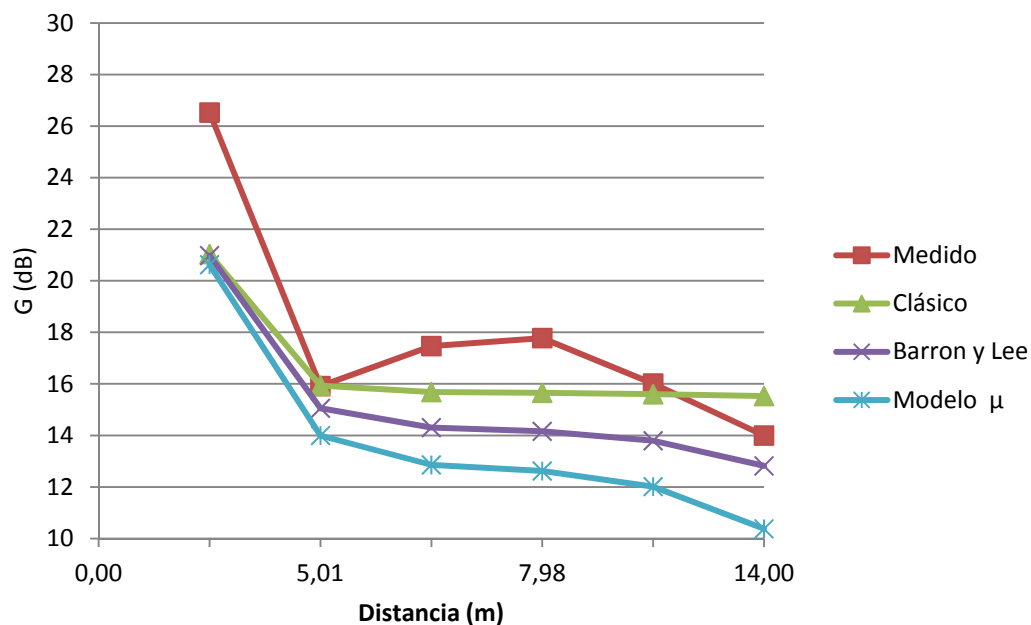


Figura 120. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F1

Como se puede observar, al contrario que para la claridad, para G, se mueve dentro de un rango de valores mayor a bajas frecuencias que a medias o altas.

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente, aunque en el caso de los valores medidos, no muestran una pendiente uniforme, viéndose que los modelos teóricos, no se asemejan a la forma de la curva para los valores medidos.

En todos los casos, el Modelo Clásico es el que más se aproxima a los valores experimentales, si bien, se encuentran diferencias por encima de los 6 dB.

Fuente 2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	13,00	20,13	17,57	16,00	14,91
M2	9,00	21,57	17,62	16,54	15,74
M3	7,60	18,74	17,66	16,76	16,06
M4	8,15	17,71	17,64	16,67	15,94
M5	4,51	23,93	17,89	17,38	16,93
M6	-	-	-	-	-

Tabla 82. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2

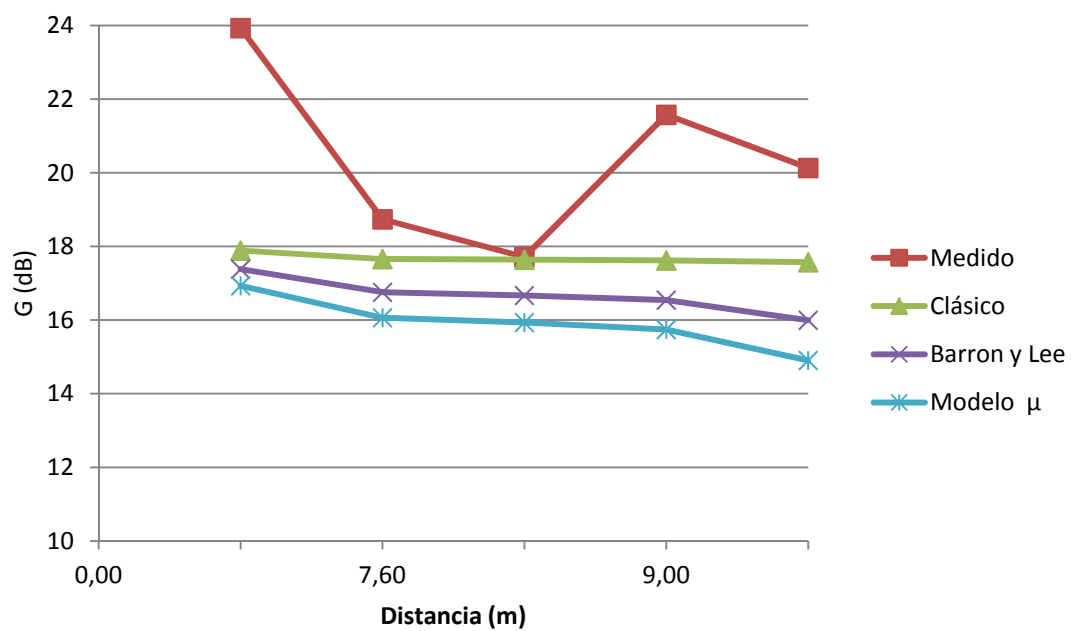


Figura 121. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	13,00	17,07	16,78	14,88	13,41
M2	9,00	18,16	16,83	15,54	14,46
M3	7,60	17,41	16,88	15,80	14,86
M4	8,15	16,93	16,86	15,69	14,70
M5	4,51	20,91	17,15	16,55	15,94
M6	-	-	-	-	-

Tabla 83. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2

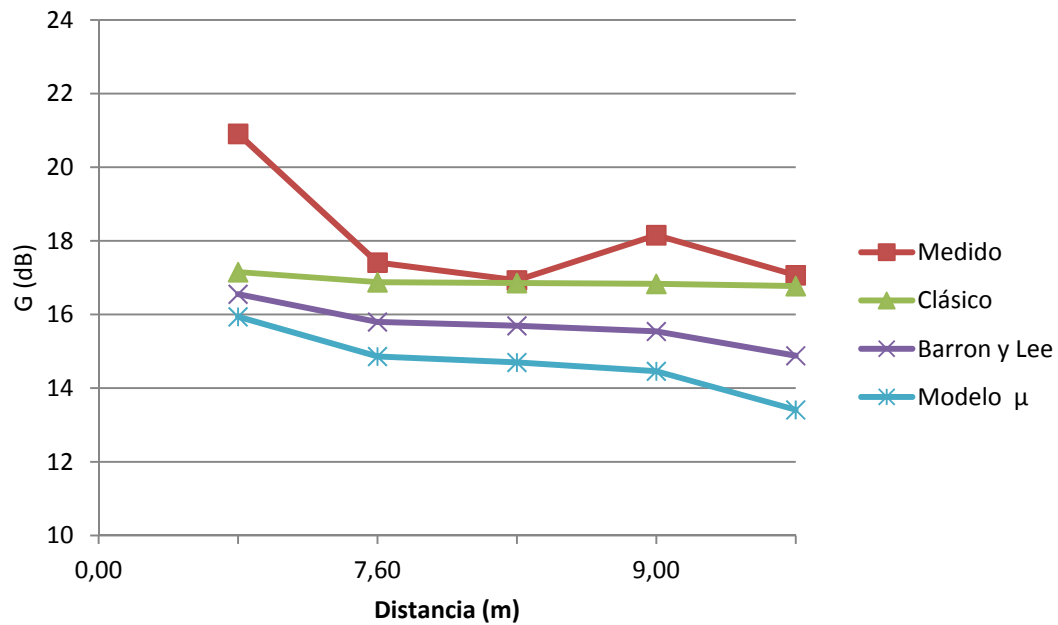


Figura 122. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G(dB) a Altas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	13,00	14,35	15,54	13,03	10,73
M2	9,00	15,91	15,61	13,91	12,21
M3	7,60	16,74	15,67	14,26	12,78
M4	8,15	15,99	15,65	14,12	12,55
M5	4,51	20,37	16,03	15,26	14,29
M6	-	-	-	-	-

Tabla 84. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2

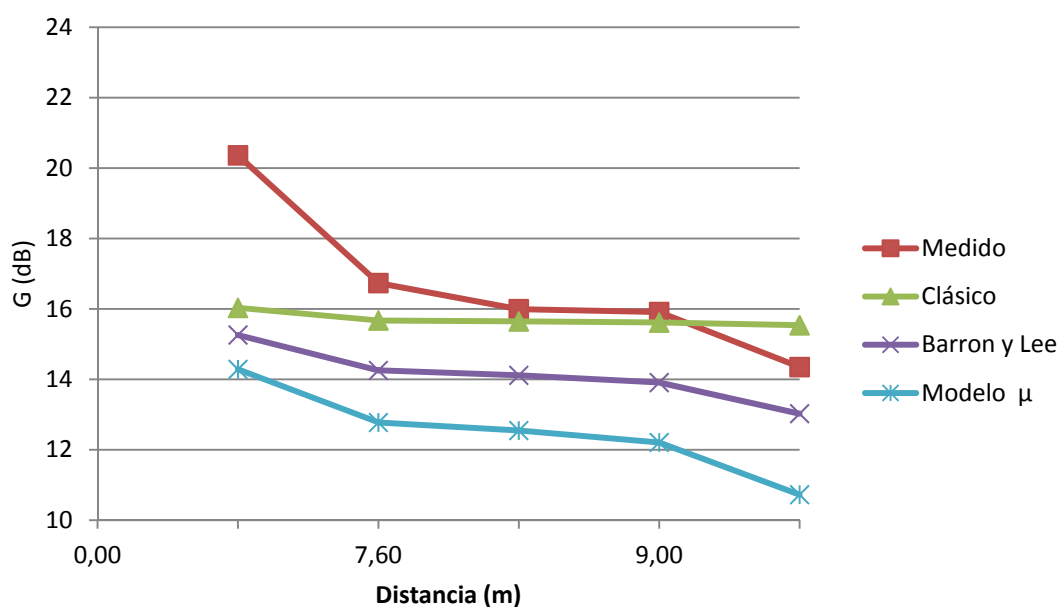


Figura 123. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F2

Los valores calculados siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente, al igual que ocurría para la Fuente 1. Sin embargo, los valores medidos, al igual que ocurría para la Fuente 1, no muestran una pendiente muy uniforme.

Igualmente, se observa que la caída para los valores teóricos, no se asemeja a la de los valores medidos.

El Modelo Clásico es el que más se aproxima a los valores experimental, sobre todo para medias frecuencias. Aún así, para el Modelo, se encuentran diferencias por

encima de los 3dB, siendo en medias frecuencias donde las diferencias son más pequeñas.

Fuente 3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	6,50	20,19	17,71	16,94	16,34
M2	3,32	22,57	18,18	17,83	17,47
M3	-	-	-	-	-
M4	6,71	21,43	17,70	16,91	16,28
M5	3,76	21,48	18,04	17,63	17,24
M6	7,60	19,56	17,66	16,76	16,06

Tabla 85. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3

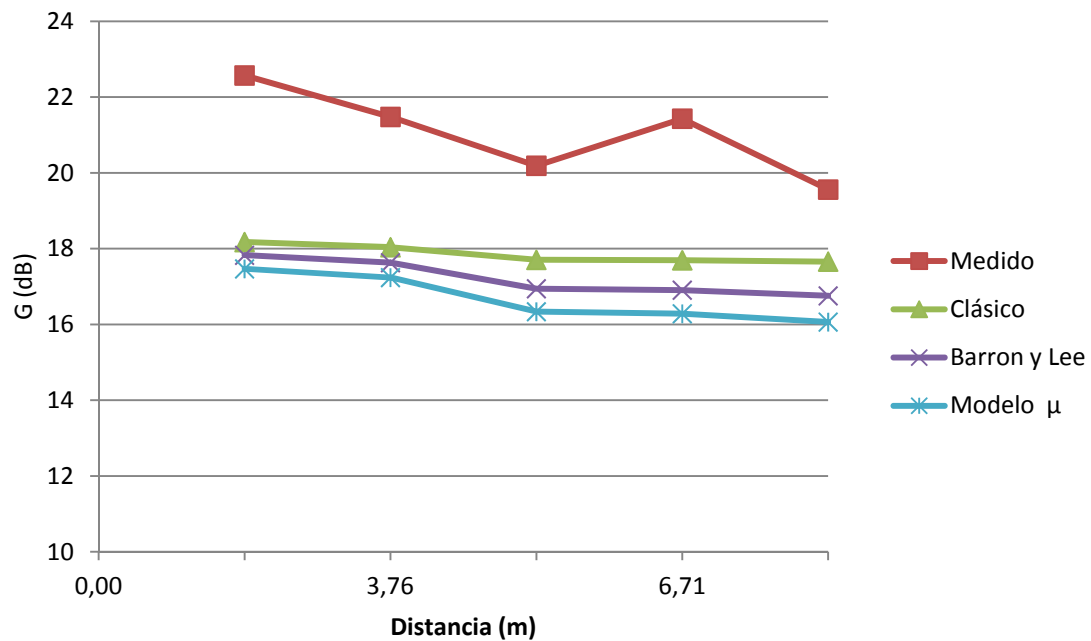


Figura 124. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	6,50	19,55	16,93	16,03	15,20
M2	3,32	22,27	17,49	17,08	16,59
M3	-	-	-	-	-
M4	6,71	20,22	16,92	15,98	15,14
M5	3,76	20,68	17,33	16,85	16,31
M6	7,60	17,22	16,88	15,80	14,86

Tabla 86. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3

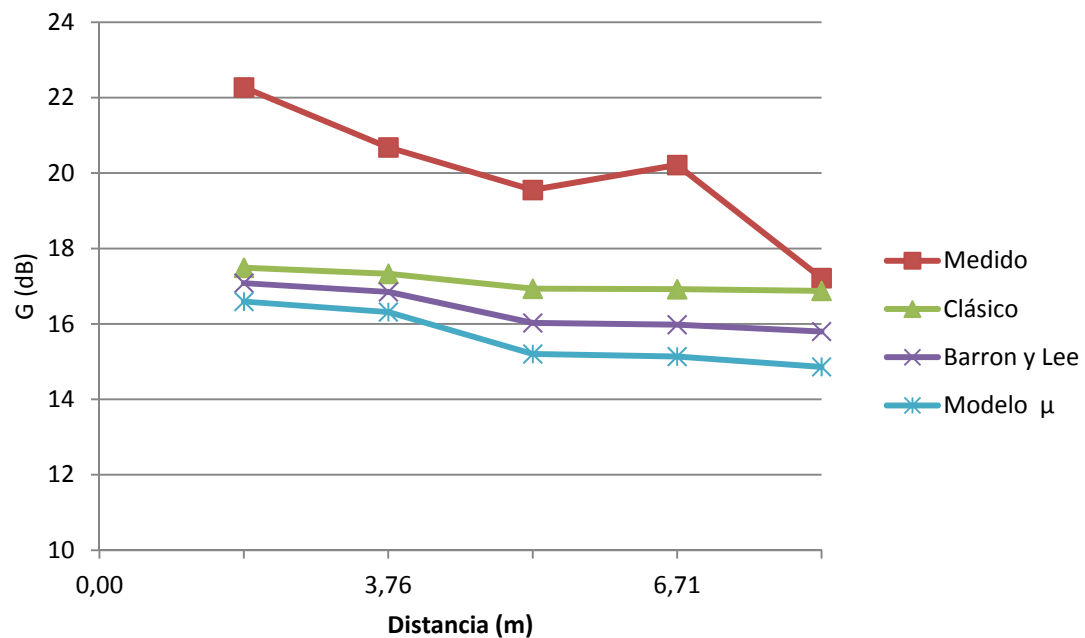


Figura 125. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 3 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	6,50	18,57	15,75	14,56	13,26
M2	3,32	21,70	16,46	15,95	15,17
M3	-	-	-	-	-
M4	6,71	18,31	15,73	14,50	13,16
M5	3,76	20,28	16,26	15,65	14,80
M6	7,60	16,60	15,67	14,26	12,78

Tabla 87. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3

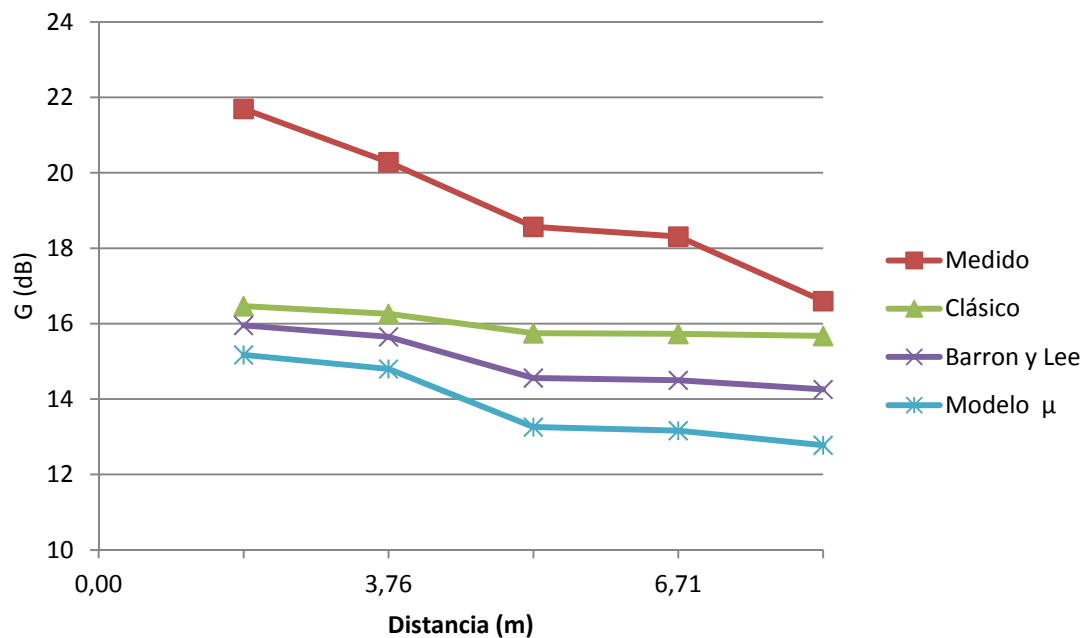


Figura 126. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F3

Los valores calculados en los 3 casos, decrecen con la distancia a la fuente, al igual que ocurría en los casos anteriores, de forma más uniforme que los valores medidos.

Igualmente, se observa que los modelos teóricos, no se asemejan demasiado a la forma de la curva para los valores medidos.

El Modelo Clásico es, de los 3 modelos, el que más se aproxima a los valores experimentales, aunque las diferencias superan los 3dB en la mayoría de los puntos.

A continuación, en las siguientes figuras se muestra el plano de planta de la iglesia, con los valores diferenciales para cada una de las teorías en relación a los medidos, clasificados en rangos de valores, que se representan mediante el siguiente código de colores:

- En el caso de C80, los puntos de medida se representarán según la siguiente codificación de colores, según el rango en el que se encuentre la diferencia del valor calculado con respecto al valor medido:
 - Por debajo de 2dB, se representa en verde
 - Entre 2dB y 4dB, se representa en naranja
 - Por encima de los 4dB, se representa en rojo

Sólo se muestran los planos para medias frecuencias, por considerarse la banda de frecuencias más significativa y para la posición de Fuente 1, ya que para una misma fuente el comportamiento de los modelos es el mismo, sin embargo esta posición de fuente es la más relevante porque es donde se sitúa el orador habitualmente.

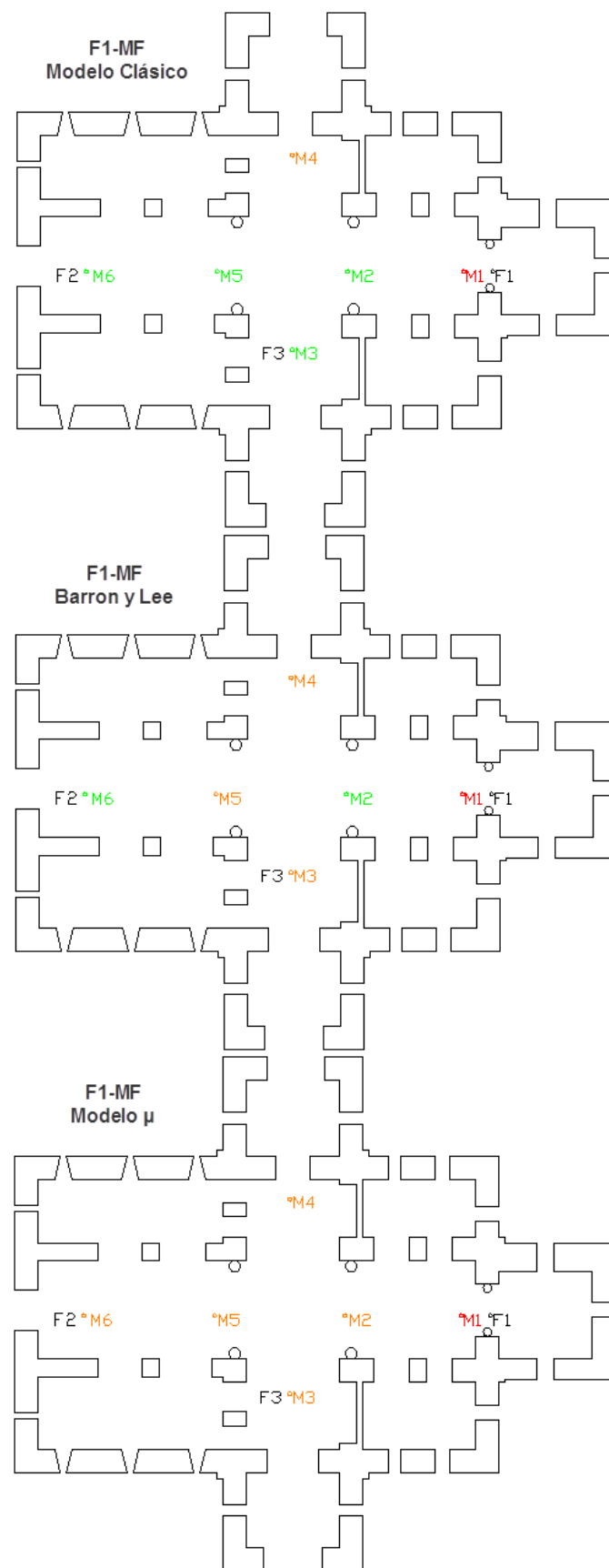


Figura 127. Diferencia para G a Medias Frecuencias y para F1

5.1.3.2.1. Conclusiones para G

A la vista de los resultados se llega a las siguientes conclusiones:

Para bajas frecuencias, el rango de valores en el que se mueven los resultados tanto medidos como calculados, son mayores que para medias y estos a su vez están por encima del rango a altas frecuencias.

Para todas las bandas de frecuencias, los valores decrecen con la distancia, si bien, son los valores obtenidos mediante el Modelo Clásico los que lo hacen con una pendiente menos pronunciada.

En este caso, al contrario que para la claridad, para la sonoridad, es el Modelo Clásico el que mejor se aproxima a los valores medidos. En este caso, son los valores del Modelo μ , los que más se alejan de los valores experimentales.

Sin embargo, dado que las diferencias existentes entre los valores calculados siguiendo la Teoría Clásica y los valores experimentales está por encima de 3 dB, suponiendo una diferencia notable, no se puede afirmar que el comportamiento de G en esta iglesia siga el modelo de propagación establecido por la Teoría Clásica.

5.1.4. Iglesia de Santa María de Melque

Para realizar los cálculos para Santa María de Melque, se ha utilizado un volumen de 1200 m^3 , un μ de 0,057 y un T30 para cada banda de frecuencia con los siguientes valores:

- 2,23 s para la banda de Bajas Frecuencias.
- 2,16 s para la banda de Medias Frecuencias.
- 1,50 s para la banda de Altas Frecuencias.

A partir de estos valores y las distancias a los puntos de medida, se han calculado los valores de C80 y G para cada posición de micrófono, con cada una de las fuentes. Este proceso se ha repetido para bajas, medias y altas frecuencias.

5.1.4.1. Valores calculados para C_{80}

Fuente 1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,32	1,76	7,78	-0,89	-1,00
M3	10,35	-2,61	1,99	-1,68	-2,01
M4	16,90	-2,76	-0,01	-1,80	-2,35
M5	11,77	-3,50	1,36	-1,72	-2,10
M6	11,92	-4,06	1,30	-1,73	-2,11

Tabla 88. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1

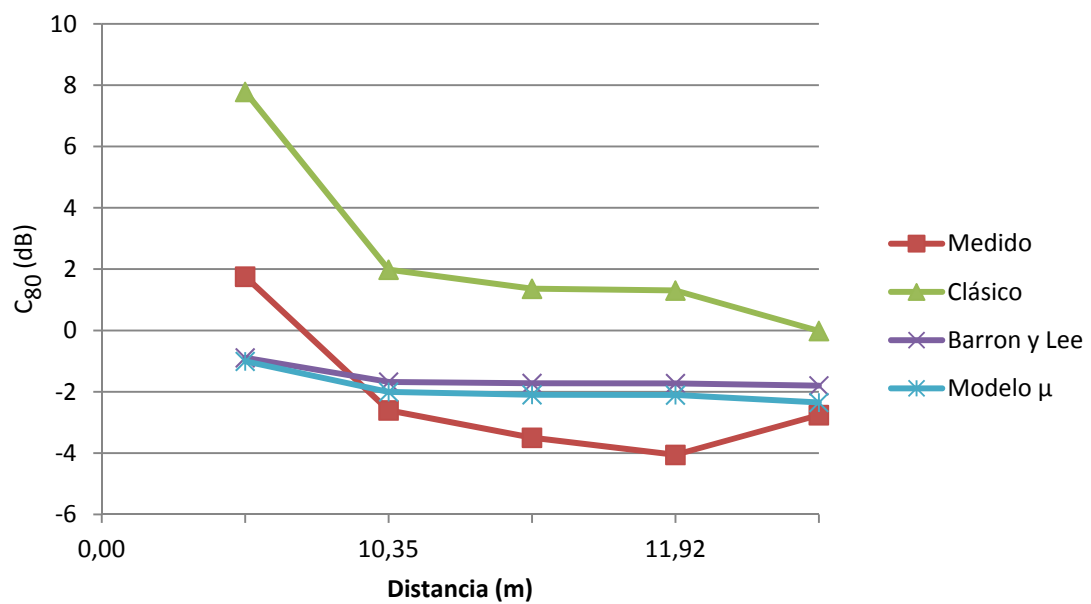
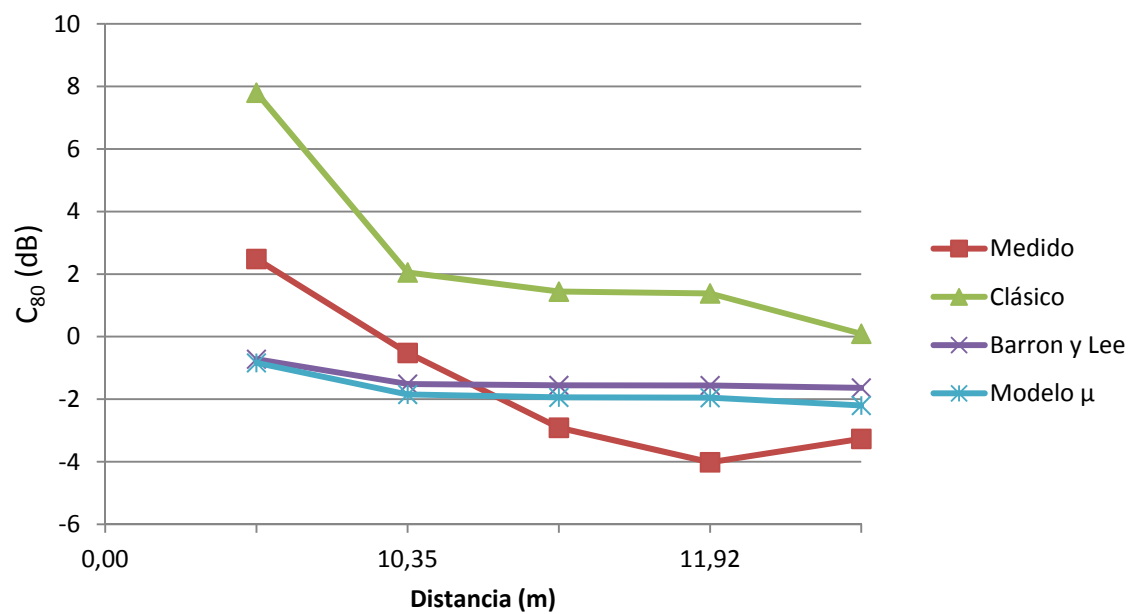


Figura 128. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F1

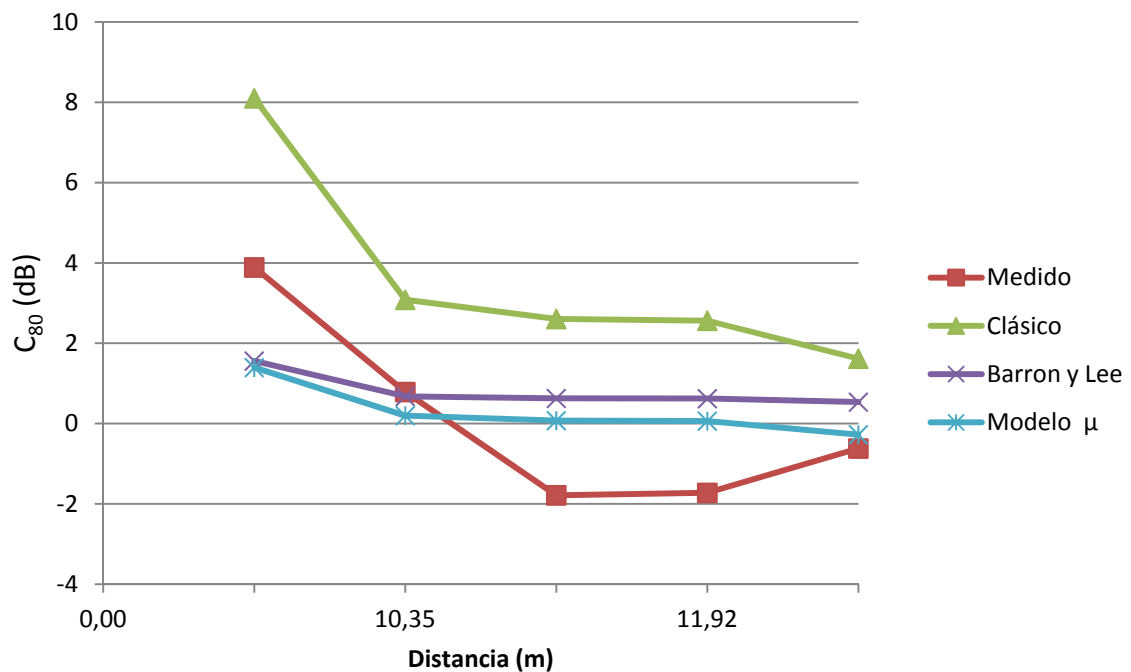
Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,32	2,49	7,80	-0,72	-0,84
M3	10,35	-0,52	2,05	-1,51	-1,85
M4	16,90	-3,27	0,09	-1,64	-2,20
M5	11,77	-2,91	1,44	-1,56	-1,94
M6	11,92	-4,01	1,38	-1,56	-1,95

Tabla 89. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1

Figura 129. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	0,00	-	-	-	-
M2	4,32	3,89	8,10	1,56	1,40
M3	10,35	0,79	3,08	0,68	0,20
M4	16,90	-0,62	1,62	0,54	-0,27
M5	11,77	-1,78	2,61	0,63	0,08
M6	11,92	-1,72	2,56	0,62	0,06

Tabla 90. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1

Figura 130. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F1

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente.

El Modelo Clásico es el que más se aleja de los valores medidos, mientras que el Modelo μ , es el más se aproxima, aunque presenta diferencias que llegan a 3,32 dB en medias frecuencias, 2,76 dB en bajas y 2,50 dB en altas.

Fuente 2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	10,35	-3,12	1,99	-1,68	-2,01
M2	6,05	-2,48	5,29	-1,34	-1,51
M3	-	-	-	-	-
M4	6,56	-2,64	4,73	-1,41	-1,61
M5	5,61	-1,83	5,83	-1,26	-1,42
M6	6,01	-3,48	5,34	-1,33	-1,50

Tabla 91. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2

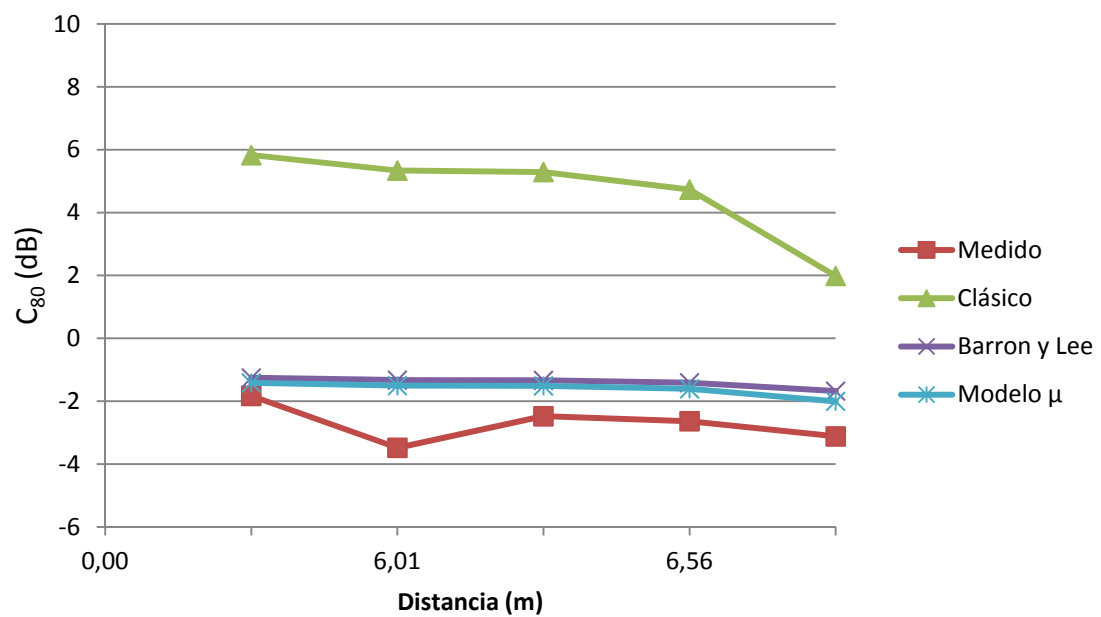
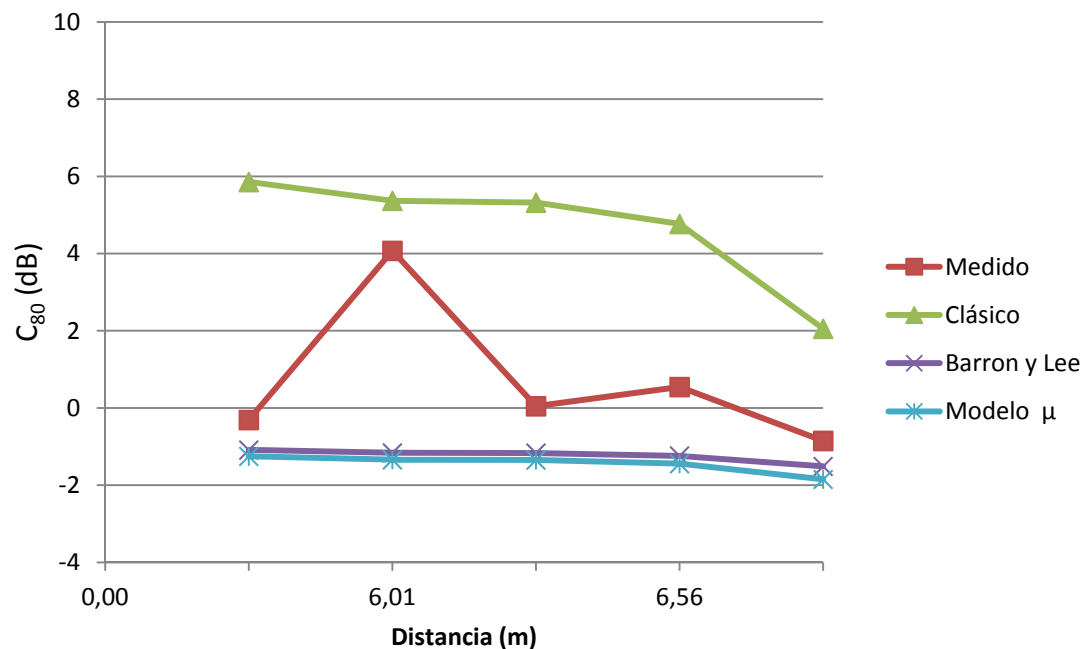


Figura 131. Comparativa de C₈₀ a Bajas Frecuencias para F2

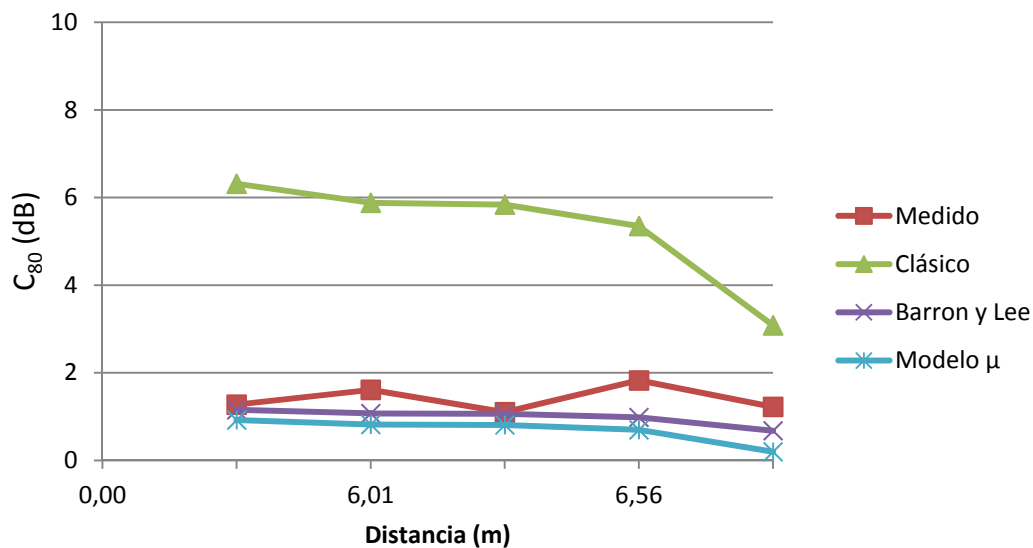
Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	10,35	-0,85	2,05	-1,51	-1,85
M2	6,05	0,05	5,32	-1,17	-1,35
M3	-	-	-	-	-
M4	6,56	0,54	4,77	-1,24	-1,44
M5	5,61	-0,31	5,86	-1,09	-1,25
M6	6,01	4,07	5,37	-1,16	-1,34

Tabla 92. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2

Figura 132. Comparativa de C₈₀ a Medias Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	10,35	1,22	3,08	0,68	0,20
M2	6,05	1,10	5,84	1,06	0,81
M3	-	-	-	-	-
M4	6,56	1,83	5,35	0,98	0,70
M5	5,61	1,27	6,32	1,15	0,92
M6	6,01	1,61	5,88	1,07	0,82

Tabla 93. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2

Figura 133. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F2

En todos los casos, el Modelo Clásico es el que más se aleja de los valores experimentales, con una acentuada pendiente, mientras que el Modelo de Barron y Lee Modelo μ , se aproximan sin mucha diferencia entre ellos, sobre todo a frecuencias medias. Sin embargo, las diferencias llegan a los 5 dB para ambas teorías.

A continuación, en las siguientes figuras se muestra el plano de planta de la iglesia, con los valores diferenciales para cada una de las teorías en relación a los medidos, clasificados en rangos de valores, que se representan mediante el siguiente código de colores:

- En el caso de C80, los puntos de medida se representarán según la siguiente codificación de colores, según el rango en el que se encuentre la diferencia del valor calculado con respecto al valor medido:
 - Por debajo de 2dB, se representa en verde
 - Entre 2dB y 4dB, se representa en naranja
 - Por encima de los 4dB, se representa en rojo

Sólo se muestran los planos para medias frecuencias, por considerarse la banda de frecuencias más significativa y para la posición de Fuente 1, ya que para una misma fuente el comportamiento de los modelos es el mismo, sin embargo esta posición de fuente es la más relevante porque es donde se sitúa el orador habitualmente.

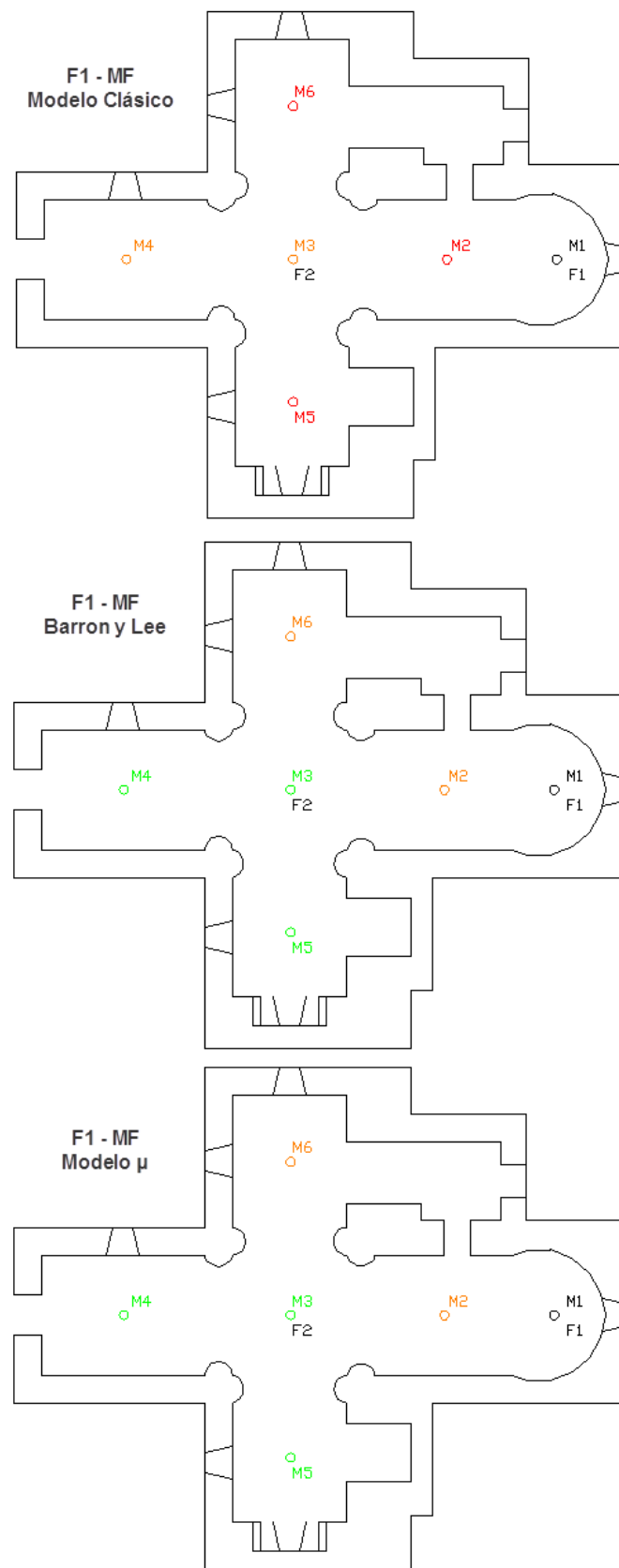


Figura 134. Diferencia para C80 a Medias Frecuencias y para F1

5.1.4.1.1. Conclusiones para C_{80}

A la vista de los resultados, se alcanzan las siguientes conclusiones:

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, decrecen con el aumento de la distancia, si bien, el Modelo Clásico presenta una pendiente mucho más acentuada.

En términos generales, los valores para altas frecuencias se mueven en un rango de valores superiores, que para bajas y medias frecuencias.

Tanto el Modelo μ , como el de de Barron y Lee, son los que más se aproximan a los valores medidos in situ, siendo el Modelo Clásico el que más se aleja con diferencia.

No obstante, para ambos modelos, se encuentran diferencias de más de 2 dB, por lo que, no se puede establecer ninguna de ellas como modelo de propagación del sonido para este espacio.

5.1.4.2. Valores calculados para G

Fuente 1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G(dB) a Bajas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,32	21,90	17,94	17,63	17,55
M3	10,35	17,66	17,62	16,83	16,68
M4	16,90	15,58	17,58	16,27	16,05
M5	11,77	14,93	17,61	16,70	16,54
M6	11,92	16,67	17,60	16,69	16,52

Tabla 94. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1

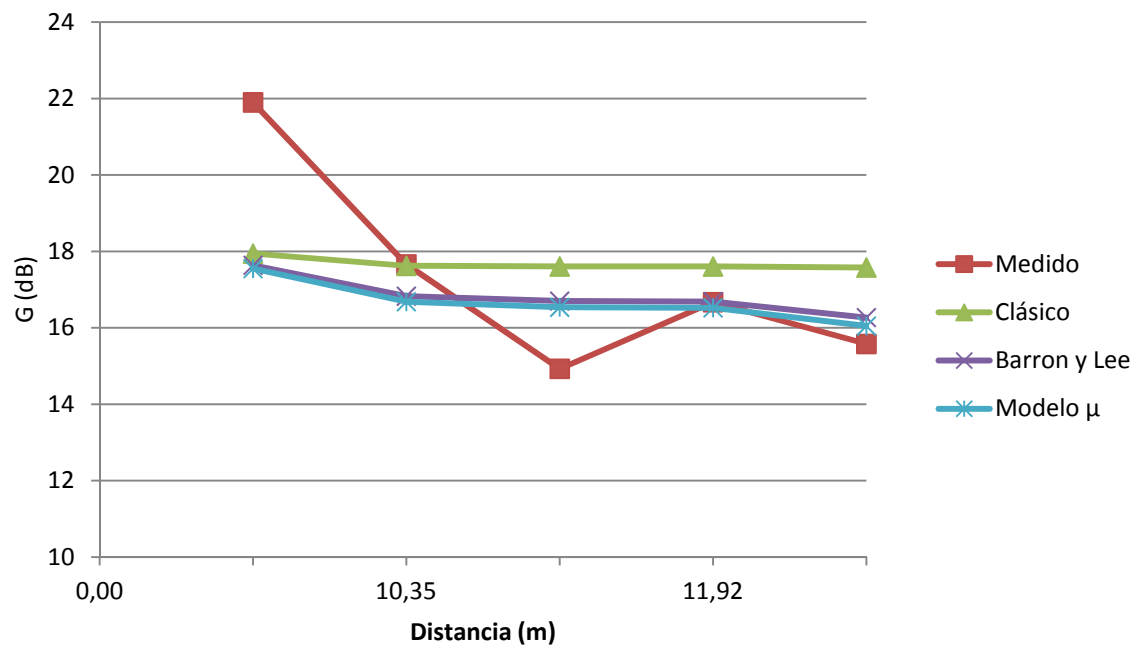


Figura 135. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,32	22,12	17,82	17,51	17,42
M3	10,35	18,12	17,50	16,68	16,52
M4	16,90	16,17	17,45	16,10	15,87
M5	11,77	16,39	17,48	16,55	16,37
M6	11,92	15,98	17,48	16,53	16,36

Tabla 95. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1

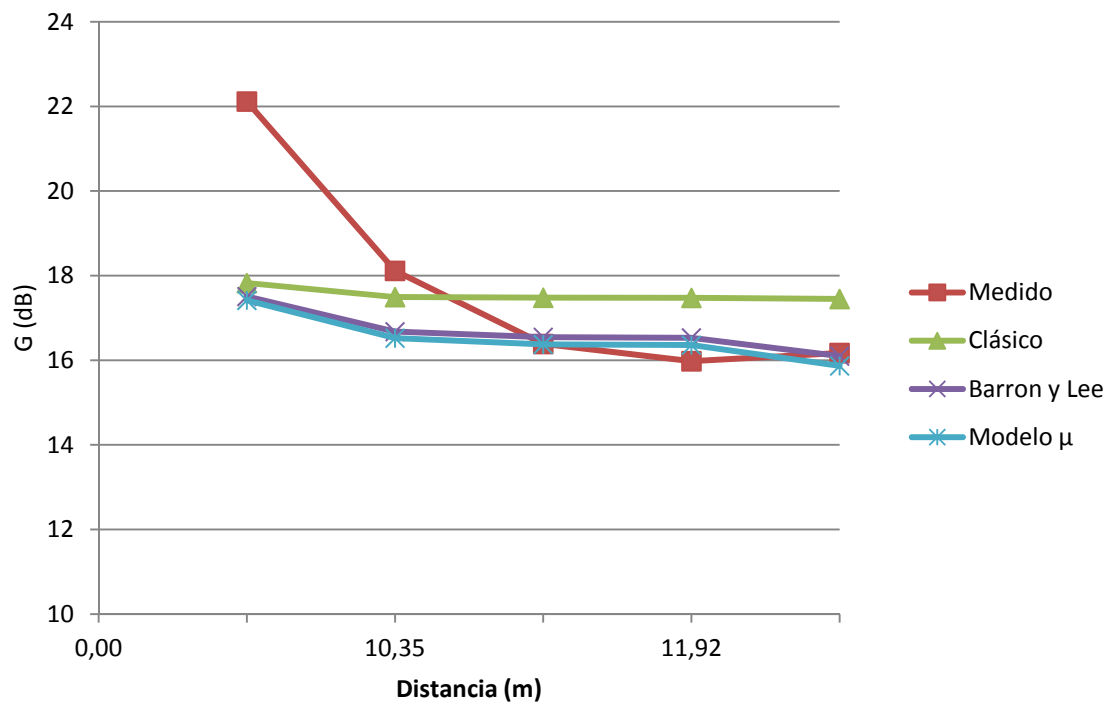


Figura 136. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) a Altas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,32	22,12	16,39	15,96	15,78
M3	10,35	18,12	15,93	14,76	14,47
M4	16,90	16,17	15,86	13,92	13,48
M5	11,77	16,39	15,91	14,57	14,24
M6	11,92	15,98	15,90	14,55	14,22

Tabla 96. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1

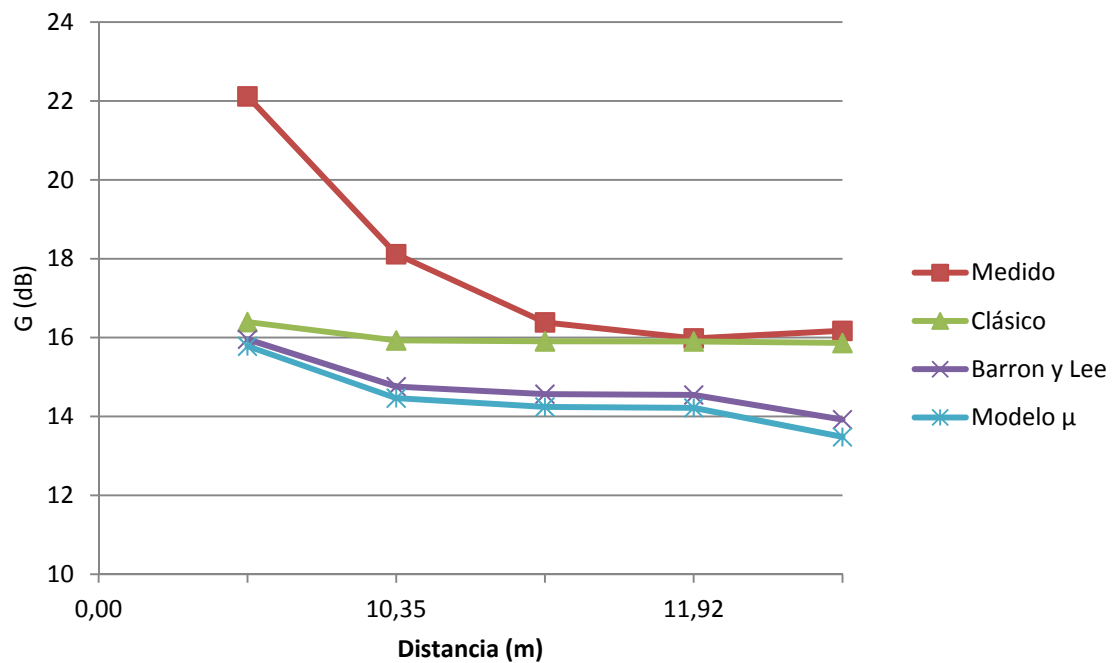


Figura 137. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F1

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente, con una pendiente muy poco pronunciada en el caso de la Teoría Clásica.

Aunque las 3 teorías se encuentran muy próximas a los valores experimentales, es el Modelo Clásico es el que más se acerca a los valores Medidos, si bien, se encuentran diferencias de hasta casi 6 dB.

Cabe destacar la similitud entre los valores obtenidos según el Modelo de Barron y Lee y los obtenidos según el Modelo μ .

Fuente 2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	10,35	17,58	17,62	16,83	16,68
M2	6,05	18,23	17,76	17,31	17,21
M3	-	-	-	-	-
M4	6,56	17,58	17,73	17,23	17,13
M5	5,61	17,92	17,79	17,37	17,28
M6	6,01	17,87	17,76	17,31	17,21

Tabla 97. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2

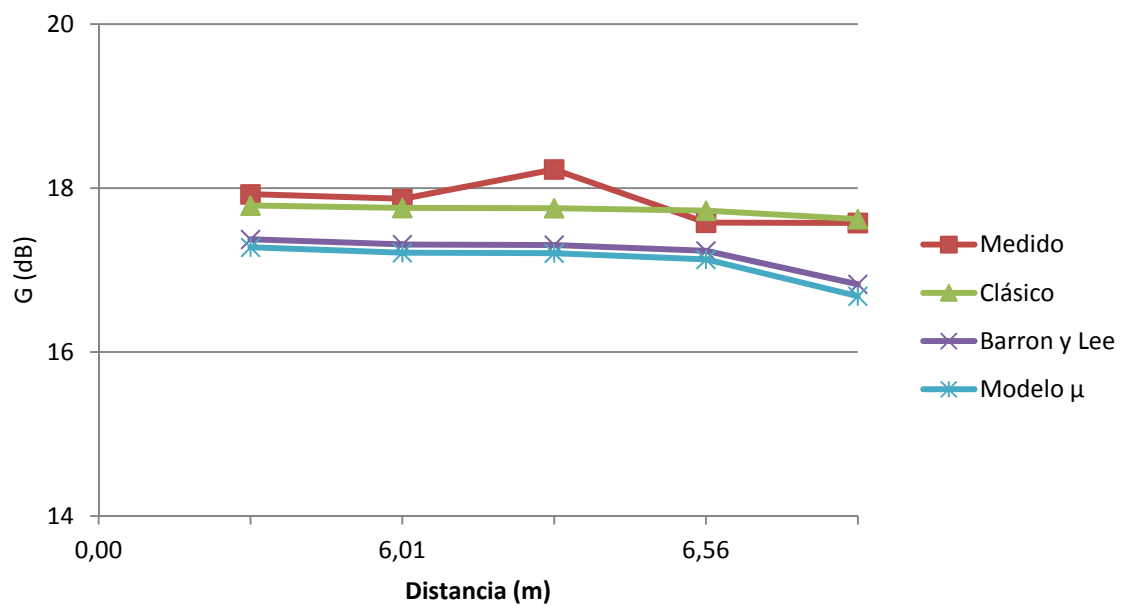


Figura 138. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	10,35	17,93	17,50	16,68	16,52
M2	6,05	18,28	17,63	17,17	17,06
M3	-	-	-	-	-
M4	6,56	18,18	17,60	17,10	16,99
M5	5,61	17,61	17,67	17,24	17,14
M6	6,01	17,81	17,64	17,18	17,07

Tabla 98. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2

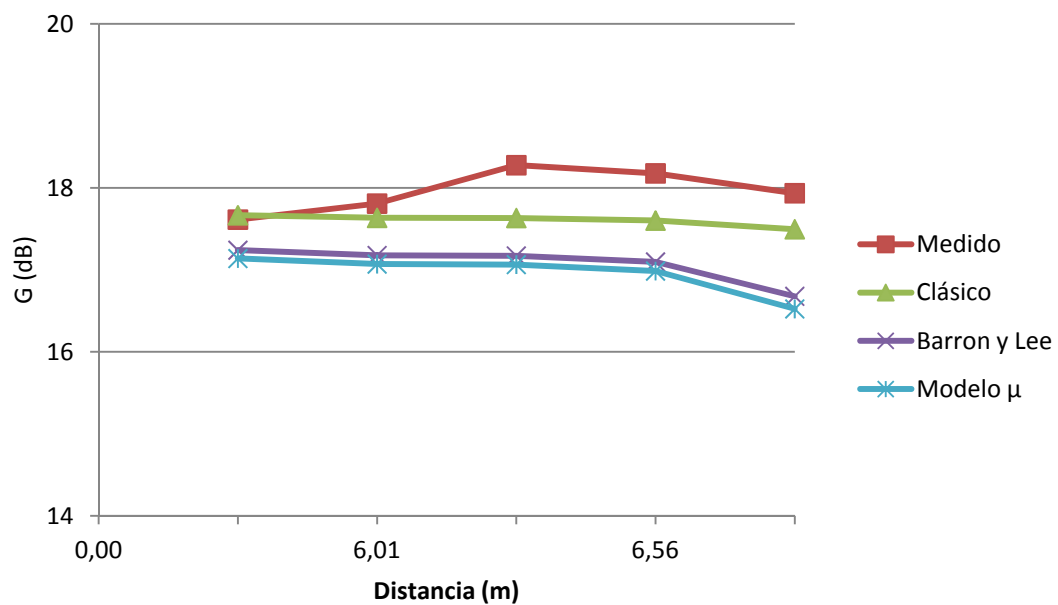


Figura 139. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G(dB) a Altas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	10,35	16,35	15,93	14,76	14,47
M2	6,05	16,05	16,12	15,47	15,27
M3	-	-	-	-	-
M4	6,56	16,06	16,08	15,37	15,15
M5	5,61	15,75	16,17	15,57	15,38
M6	6,01	16,19	16,13	15,48	15,28

Tabla 99. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2

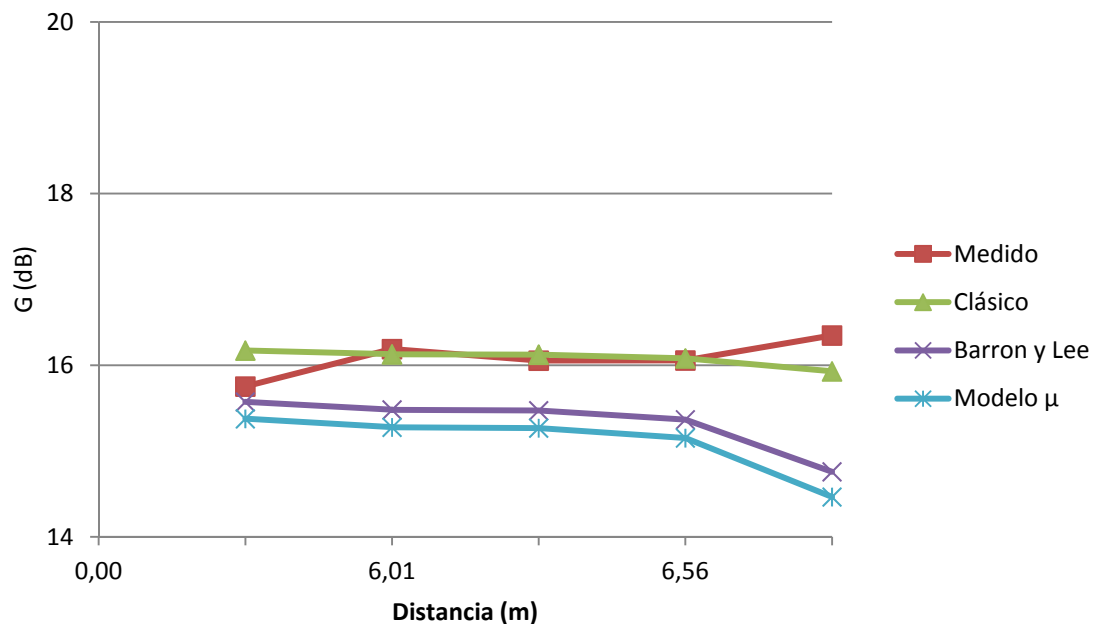


Figura 140. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F2

Los valores calculados siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente, al igual que ocurría para la Fuente 1.

Igualmente, se observa que la caída para los valores teóricos, no se asemeja a la de los valores medidos.

Los valores obtenidos a partir de las teorías, se encuentran muy próximos entre sí, pero es el Modelo Clásico es el que más se aproxima a los valores experimentales,

sobre todo para medias frecuencias. Para este Modelo, no se encuentran diferencias por encima de los 0,7dB.

A continuación, en las siguientes figuras se muestra el plano de planta de la iglesia, con los valores diferenciales para cada una de las teorías en relación a los medidos, clasificados en rangos de valores, que se representan mediante el siguiente código de colores:

- En el caso de C80, los puntos de medida se representarán según la siguiente codificación de colores, según el rango en el que se encuentre la diferencia del valor calculado con respecto al valor medido:
 - Por debajo de 2dB, se representa en verde
 - Entre 2dB y 4dB, se representa en naranja
 - Por encima de los 4dB, se representa en rojo

Sólo se muestran los planos para medias frecuencias, por considerarse la banda de frecuencias más significativa y para la posición de Fuente 1, ya que para una misma fuente el comportamiento de los modelos es el mismo, sin embargo esta posición de fuente es la más relevante porque es donde se sitúa el orador habitualmente.

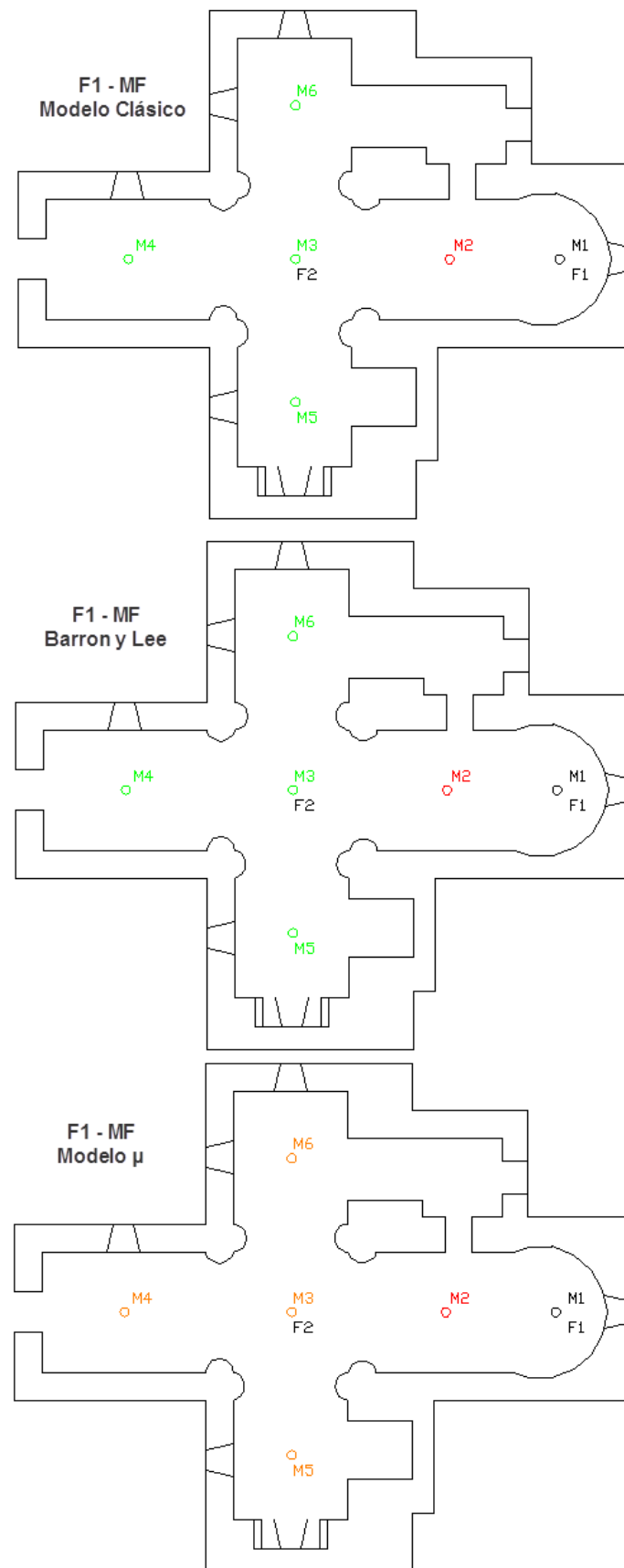


Figura 141. Diferencia para G a Medias Frecuencias y para F1

5.1.4.2.1. Conclusiones para G

A la vista de los resultados se llega a las siguientes conclusiones:

Para bajas frecuencias, el rango de valores en el que se mueven los resultados tanto medidos como calculados, son mayores que para medias y estos a su vez están por encima del rango a altas frecuencias.

Para todas las bandas de frecuencias, los valores decrecen con la distancia, si bien, son los valores obtenidos mediante el Modelo Clásico los que lo hacen con una pendiente menos pronunciada.

En este caso, es el Modelo Clásico el que mejor se aproxima a los valores medidos, siendo los valores del Modelo μ , los que más se alejan de los valores experimentales.

Sin embargo, dado que las diferencias existentes entre los valores calculados siguiendo la Teoría Clásica y los valores experimentales está por encima de 3 dB, suponiendo una diferencia notable, no se puede afirmar que el comportamiento de G en esta iglesia siga el modelo de propagación establecido por la Teoría Clásica.

5.1.5. Iglesia de Santa Lucía del Trampal

Para los cálculos realizados se ha partido de los siguientes valores: un volumen de 744 m³, un T30 para cada banda de frecuencia con los siguientes valores:

- 0,88 s para la banda de Bajas Frecuencias.
- 0,87 s para la banda de Medias Frecuencias.
- 0,77 s para la banda de Altas Frecuencias.

La iglesia se ha dividido en 3 espacios, en lo que a μ se refiere. Para cada uno de ellos se han usado un valor de μ propio. Se ha considerado así, debido a la geometría tan compleja que presenta esta iglesia. Los espacios en los que se ha dividido son: la cabecera de la iglesia, el coro y la nave. Para cada uno de estos espacios se ha usado un valor de μ de 0,074, 0,083 y 0,099 respectivamente.

A partir de estos valores y las distancias a los puntos de medida, se han calculado los valores de C_{80} y G para cada posición de micrófono, con cada una de las fuentes. Este proceso se ha repetido para bajas, medias y altas frecuencias.

5.1.5.1. Valores calculados para C_{80}

Fuente 1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	4,91	3,31	8,26	4,85	4,17
M2	1,88	7,26	14,90	7,44	7,30
M3	5,00	2,96	8,17	4,83	4,14
M4	5,66	1,88	8,26	4,85	4,00
M5	8,79	1,18	5,85	4,38	2,04
M6	11,11	0,27	5,27	4,29	1,27
M7	14,66	-1,16	4,80	4,22	0,17
M8	16,76	-1,75	4,64	4,20	-0,46

Tabla 100. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1

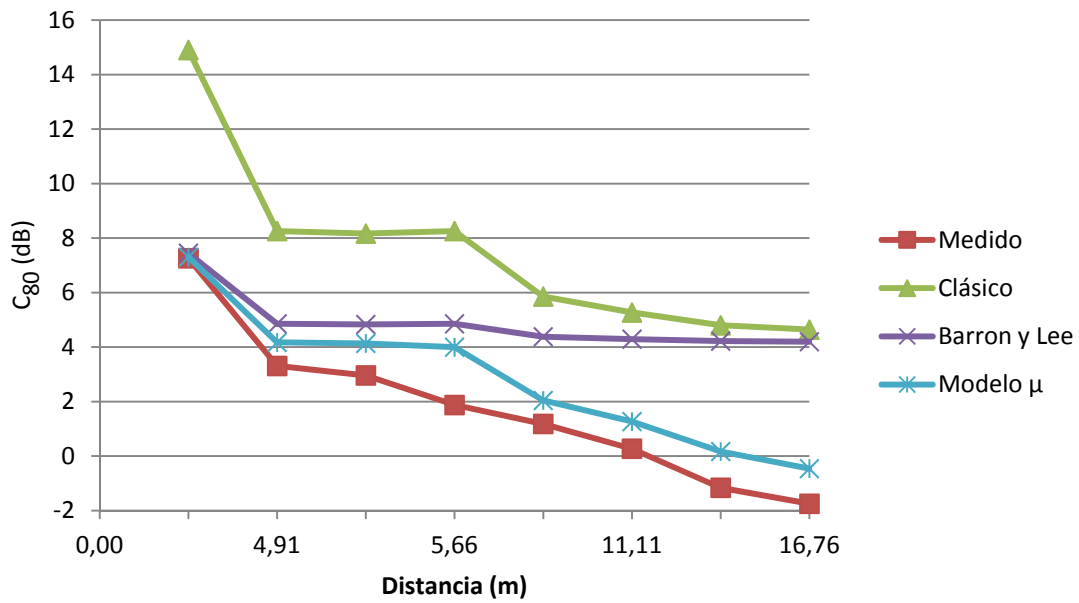


Figura 142. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	4,91	4,00	8,29	4,95	4,26
M2	1,88	7,45	14,91	7,55	7,40
M3	5,00	4,22	8,20	4,93	4,22
M4	5,66	4,12	8,29	4,95	4,08
M5	8,79	2,30	5,91	4,47	2,11
M6	11,11	2,02	5,34	4,38	1,33
M7	14,66	0,01	4,88	4,31	0,22
M8	16,76	-0,10	4,72	4,29	-0,42

Tabla 101. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1

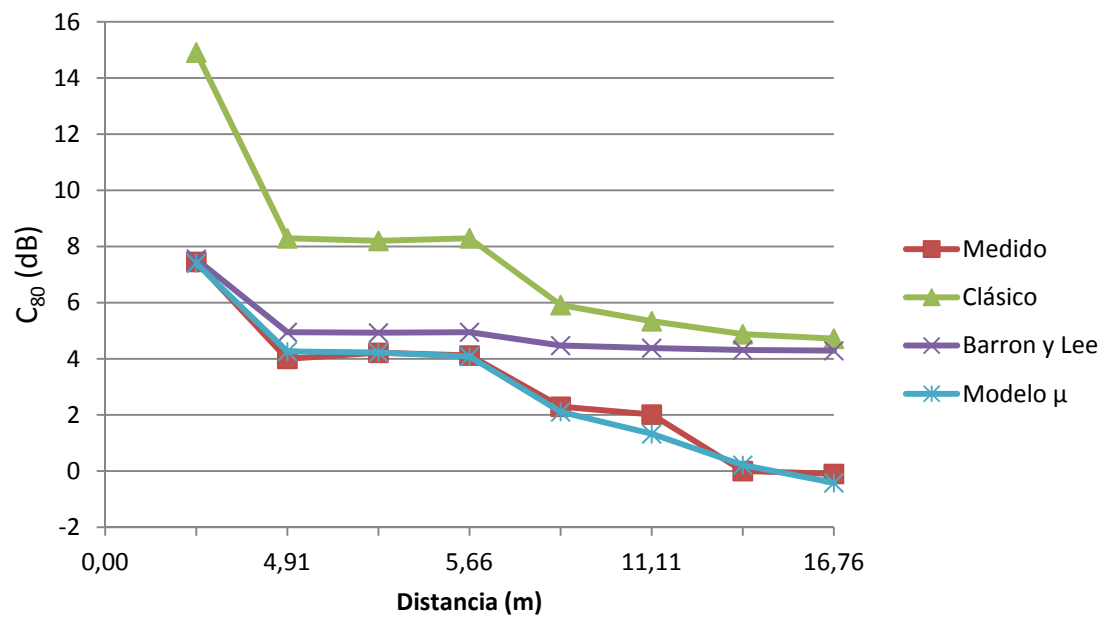


Figura 143. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	4,91	5,68	8,67	5,94	5,18
M2	1,88	10,08	15,00	8,65	8,49
M3	5,00	4,08	8,59	5,92	5,14
M4	5,66	4,65	8,67	5,94	4,99
M5	8,79	3,39	6,55	5,43	2,82
M6	11,11	3,12	6,06	5,34	1,95
M7	14,66	2,36	5,67	5,26	0,72
M8	16,76	3,52	5,54	5,24	0,02

Tabla 102. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1

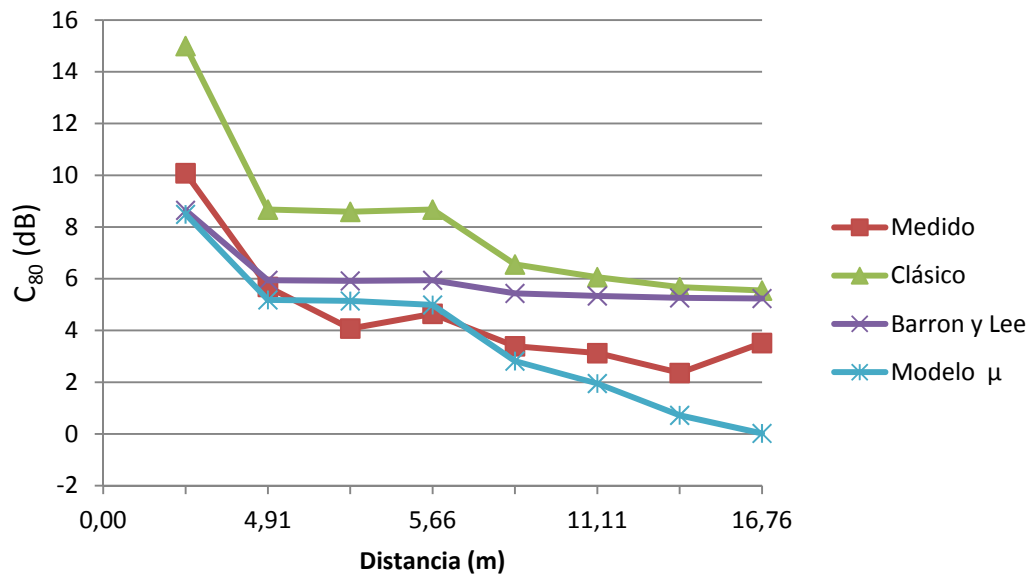


Figura 144. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F1

Como se puede observar para altas frecuencias C_{80} , se mueve dentro de un rango de valores mayores que para medias y bajas frecuencias.

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente.

En todos los casos, el Modelo Clásico es el que más se aleja de los valores experimentales, mientras el Modelo μ , es el que más se aproxima. No obstante, se encuentran diferencias de hasta 7 dB.

Fuente 2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,36	6,61	8,93	5,02	4,44
M3	9,22	2,65	5,72	4,36	2,92
M4	6,19	-0,02	8,93	5,02	4,29
M5	7,94	1,46	6,17	4,44	2,35
M6	10,87	0,18	5,32	4,30	1,34
M7	13,75	-0,20	4,89	4,24	0,44
M8	15,33	-2,02	4,74	4,21	-0,03

Tabla 103. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2

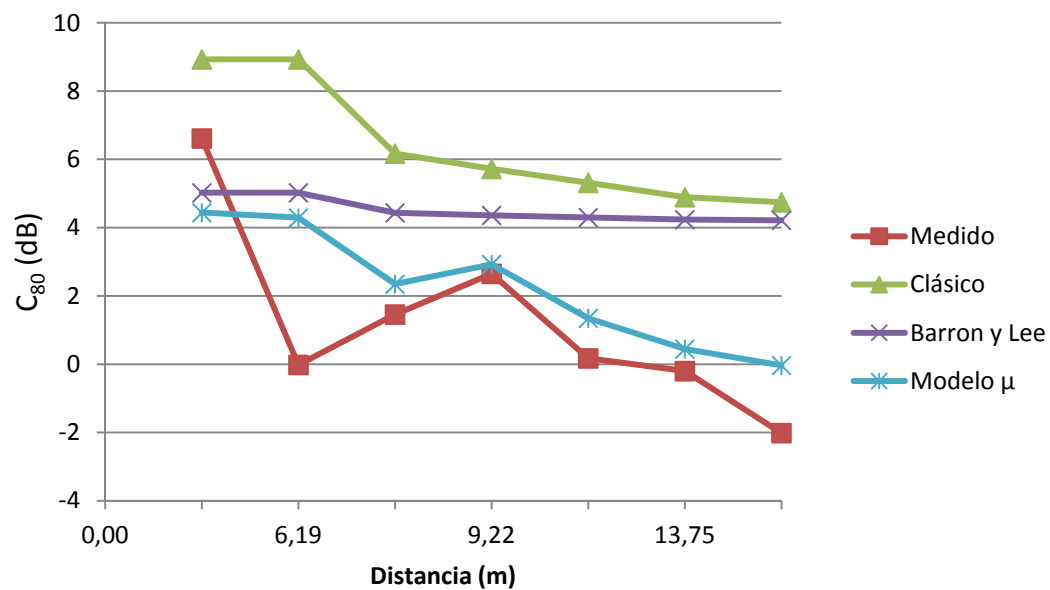
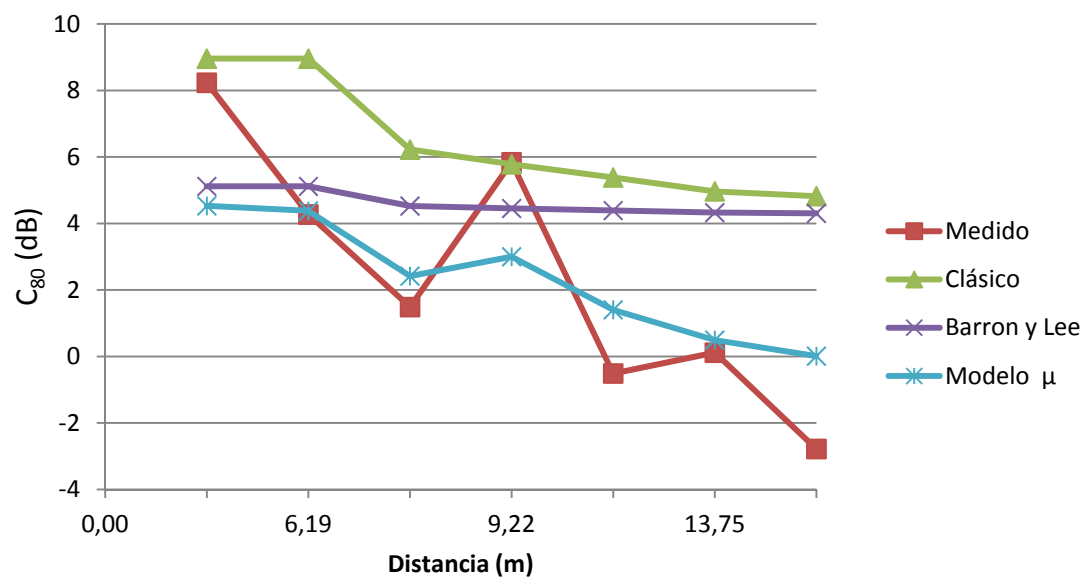


Figura 145. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F2

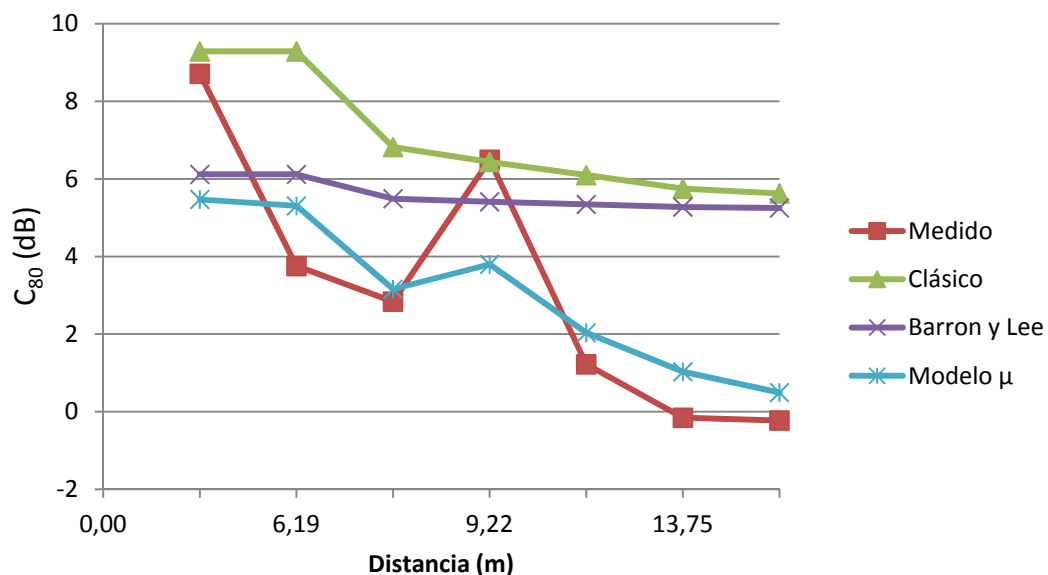
Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,36	8,23	8,96	5,12	4,53
M3	9,22	5,84	5,78	4,45	3,00
M4	6,19	4,27	8,96	5,12	4,38
M5	7,94	1,49	6,23	4,53	2,42
M6	10,87	-0,51	5,38	4,39	1,40
M7	13,75	0,12	4,97	4,33	0,49
M8	15,33	-2,78	4,82	4,30	0,01

Tabla 104. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2

Figura 146. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,36	8,71	9,29	6,12	5,47
M3	9,22	6,49	6,44	5,41	3,80
M4	6,19	3,76	9,29	6,12	5,31
M5	7,94	2,84	6,82	5,49	3,16
M6	10,87	1,22	6,10	5,34	2,04
M7	13,75	-0,15	5,75	5,27	1,03
M8	15,33	-0,23	5,63	5,25	0,49

Tabla 105. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2

Figura 147. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F2

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente. Sin embargo, los valores medidos, no muestran una pendiente uniforme, apareciendo muchas fluctuaciones.

Igualmente, se observa que los modelos teóricos, no se asemejan a la forma de la curva para los valores medidos.

Como se puede observar para altas frecuencias C_{80} , se mueve dentro de un rango de valores mayores que para medias y bajas frecuencias.

En todos los casos, el Modelo Clásico es el que más se aleja de los valores experimentales, mientras que el Modelo μ , es el más se aproxima. Aún así, se encuentran diferencias de hasta 4 dB, siendo para medias frecuencias donde las diferencias son menores.

Fuente 3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Bajas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	14,69	-2,91	4,80	4,22	1,85
M2	13,82	3,26	4,88	4,23	2,01
M3	14,49	-3,47	4,82	4,22	1,89
M4	10,00	1,49	4,80	4,22	1,24
M5	6,98	2,92	6,63	4,52	2,72
M6	4,69	6,35	8,52	4,92	3,82
M7	1,04	9,09	19,75	10,75	10,68
M8	1,75	7,51	15,45	7,76	7,55

Tabla 106. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3

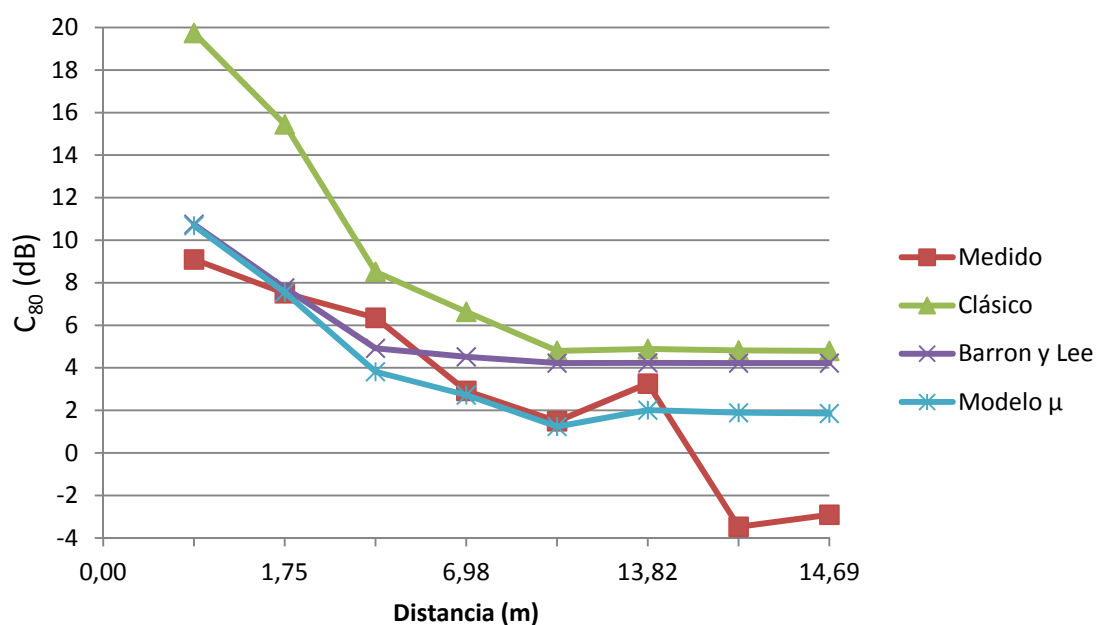


Figura 148. Comparativa de C_{80} a Bajas Frecuencias para F3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Medias Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	14,69	-1,27	4,87	4,31	1,92
M2	13,82	1,09	4,96	4,32	2,08
M3	14,49	-1,98	4,89	4,32	1,95
M4	10,00	1,23	4,87	4,31	1,30
M5	6,98	1,69	6,68	4,61	2,79
M6	4,69	4,20	8,55	5,01	3,90
M7	1,04	8,96	19,75	10,86	10,79
M8	1,75	6,80	15,45	7,86	7,65

Tabla 107. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3

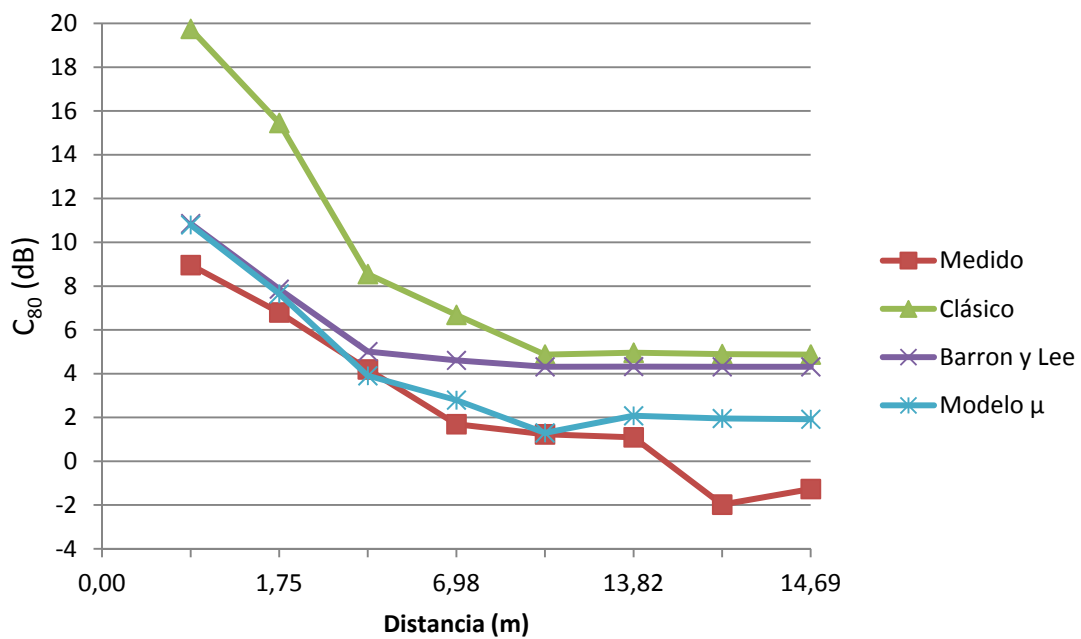
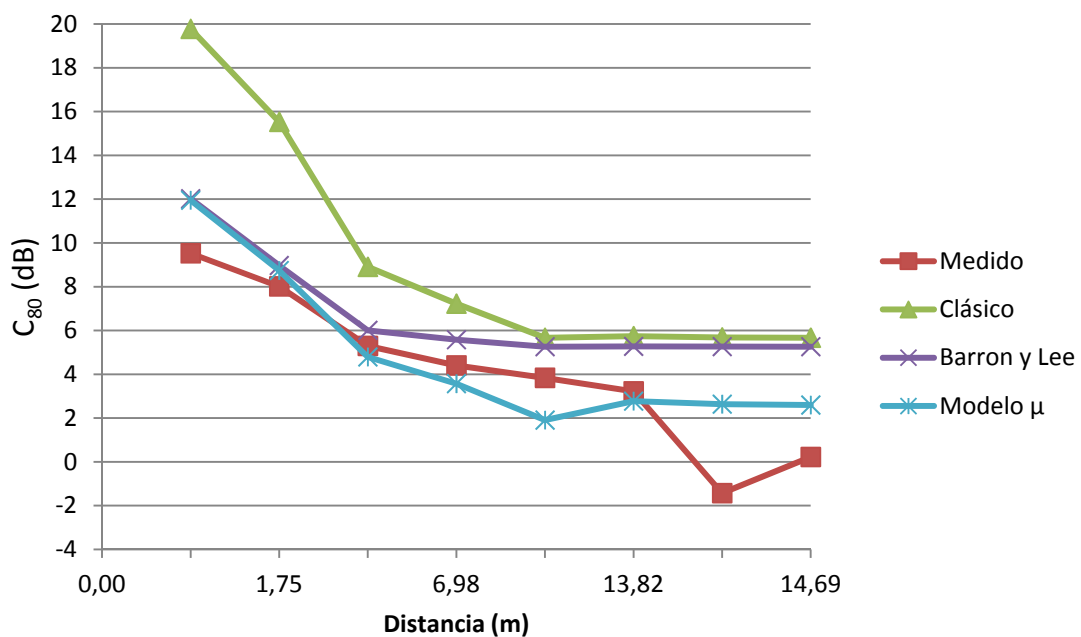


Figura 149. Comparativa de C_{80} a Medias Frecuencias para F3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	C80 (dB) a Altas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	14,69	0,22	5,67	5,26	2,59
M2	13,82	3,22	5,74	5,27	2,77
M3	14,49	-1,43	5,69	5,26	2,63
M4	10,00	3,84	5,67	5,26	1,91
M5	6,98	4,41	7,23	5,58	3,57
M6	4,69	5,30	8,91	6,01	4,79
M7	1,04	9,53	19,78	12,02	11,95
M8	1,75	8,01	15,53	8,97	8,74

Tabla 108. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3

Figura 150. Comparativa de C_{80} a Altas Frecuencias para F3

La tendencia de las 3 teorías, se mantiene decreciente con la distancia a la fuente, al igual que ocurría en los casos anteriores.

Para altas frecuencias C_{80} , se mueve dentro de un rango de valores mayores que para medias y bajas frecuencias.

El Modelo Clásico es el que más se aleja de los valores experimentales, siendo el Modelo μ , de nuevo, el que más se aproxima.

Aún así, sigue estando bastante distanciado de los valores medidos, encontrándose diferencias que superan los 5 dB.

A continuación, en las siguientes figuras se muestra el plano de planta de la iglesia, con los valores diferenciales para cada una de las teorías en relación a los medidos, clasificados en rangos de valores, que se representan mediante el siguiente código de colores:

- En el caso de C80, los puntos de medida se representarán según la siguiente codificación de colores, según el rango en el que se encuentre la diferencia del valor calculado con respecto al valor medido:
 - Por debajo de 2dB, se representa en verde
 - Entre 2dB y 4dB, se representa en naranja
 - Por encima de los 4dB, se representa en rojo

Sólo se muestran los planos para medias frecuencias, por considerarse la banda de frecuencias más significativa y para la posición de Fuente 1, ya que para una misma fuente el comportamiento de los modelos es el mismo, sin embargo esta posición de fuente es la más relevante porque es donde se sitúa el orador habitualmente.

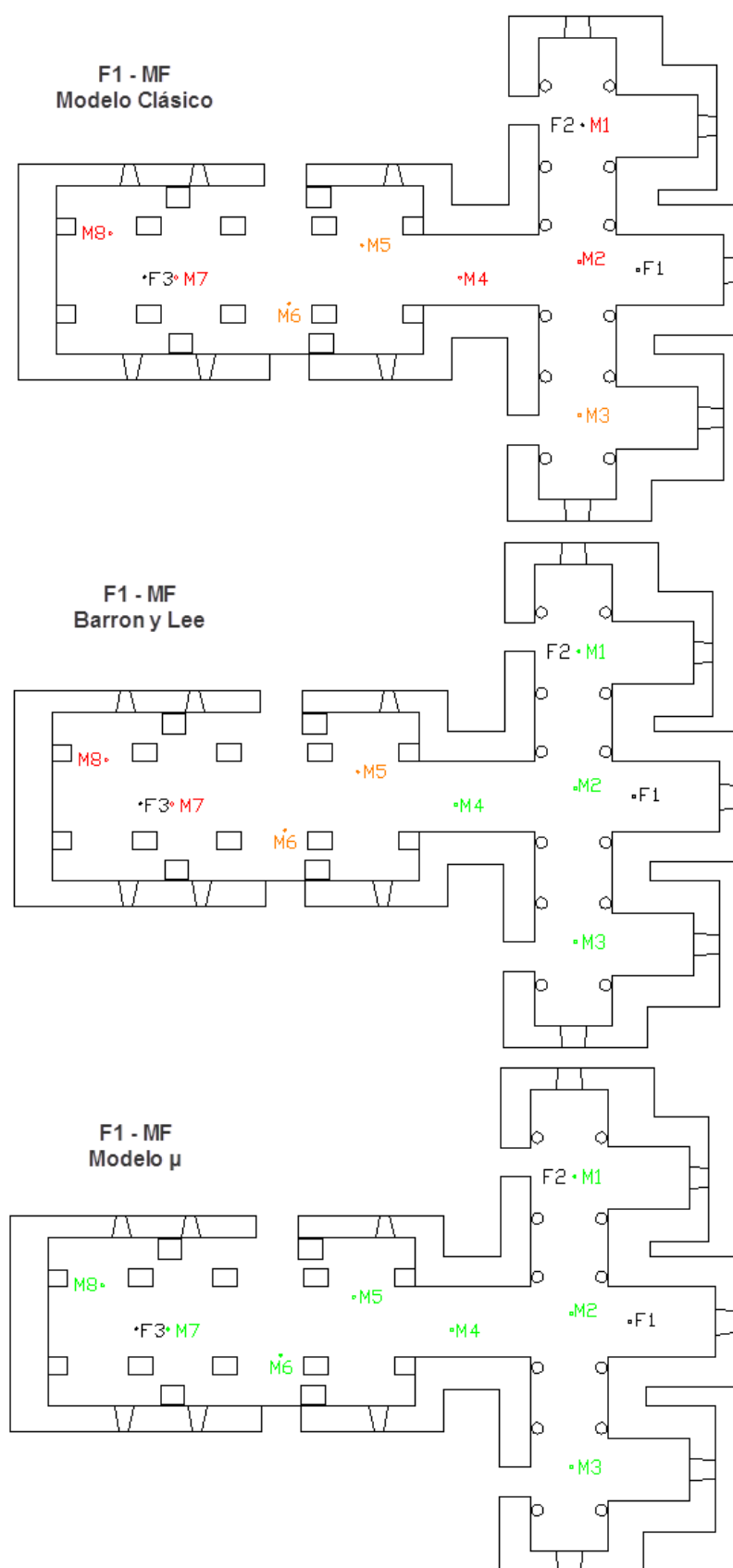


Figura 151. Diferencia para C_{80} a Medias Frecuencias y para $F1$

5.1.5.1.1. Conclusiones para C₈₀

De los resultados obtenidos y expuestos se observan las siguientes conclusiones:

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, decrecen con el aumento de la distancia.

En términos generales, los valores para altas frecuencias se mueven en un rango de valores algo superiores, que para bajas y medias frecuencias.

Los valores obtenidos como resultado de aplicar el Modelo μ , son los que más se aproximan a los valores medidos, en todas las bandas de frecuencia, seguido por el de Barron y Lee, siendo el Modelo Clásico el que más se aleja.

No obstante, a la vista de los resultados, aunque la tendencia de las 3 teorías con respecto a la distancia es la misma que la que siguen los valores medidos, aparecen en algunos puntos diferencias muy elevadas, para establecer alguna de ellas como modelo de propagación del sonido en este caso.

5.1.5.2. Valores calculados para G

Fuente 1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	4,91	10,67	16,11	15,24	14,56
M2	1,88	19,72	18,13	17,93	17,54
M3	5,00	8,59	16,10	15,21	14,51
M4	5,66	15,26	16,11	15,24	14,41
M5	8,79	9,85	15,80	14,12	12,37
M6	11,11	6,04	15,74	13,60	11,47
M7	14,66	7,16	15,70	12,84	10,19
M8	16,76	4,44	15,69	12,41	9,47

Tabla 109. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F1

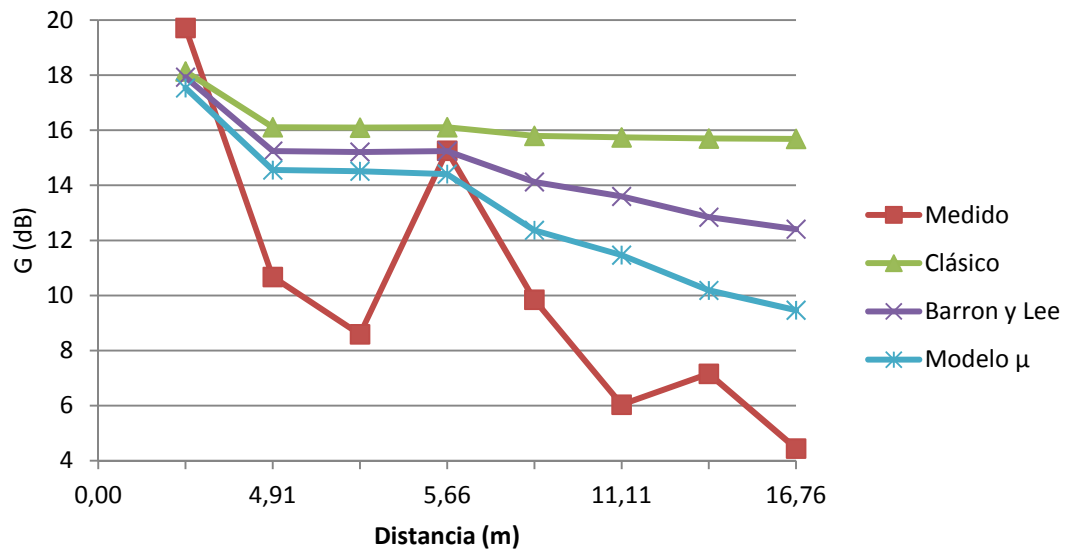


Figura 152. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G(dB) a Medias Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	4,91	13,64	16,07	15,19	14,49
M2	1,88	18,77	18,11	17,90	17,50
M3	5,00	13,06	16,05	15,16	14,45
M4	5,66	14,09	16,07	15,19	14,34
M5	8,79	10,89	15,75	14,06	12,27
M6	11,11	8,61	15,69	13,52	11,36
M7	14,66	7,94	15,65	12,76	10,06
M8	16,76	6,73	15,64	12,32	9,33

Tabla 110. Valores calculados a Medias Frecuencias para F1

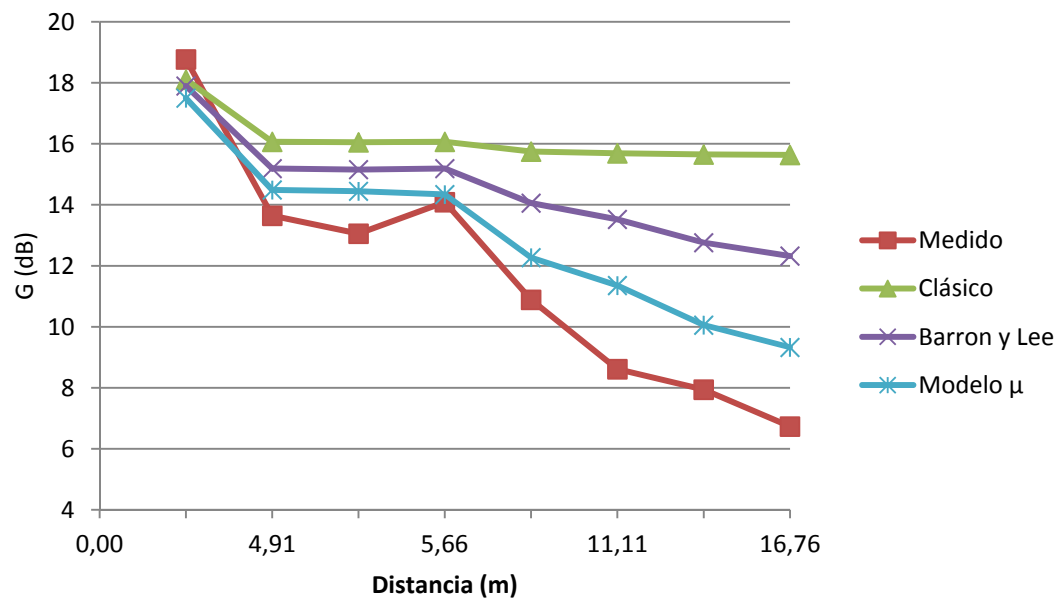


Figura 153. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F1

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 1 (m)	G (dB) a Altas Frecuencias para F1			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	4,91	12,66	15,61	14,65	13,81
M2	1,88	18,64	17,83	17,61	17,13
M3	5,00	11,57	15,60	14,61	13,76
M4	5,66	11,96	15,61	14,65	13,63
M5	8,79	9,67	15,26	13,37	11,24
M6	11,11	7,66	15,20	12,77	10,19
M7	14,66	6,27	15,15	11,92	8,70
M8	16,76	6,62	15,14	11,42	7,87

Tabla 111. Valores calculados a Altas Frecuencias para F1

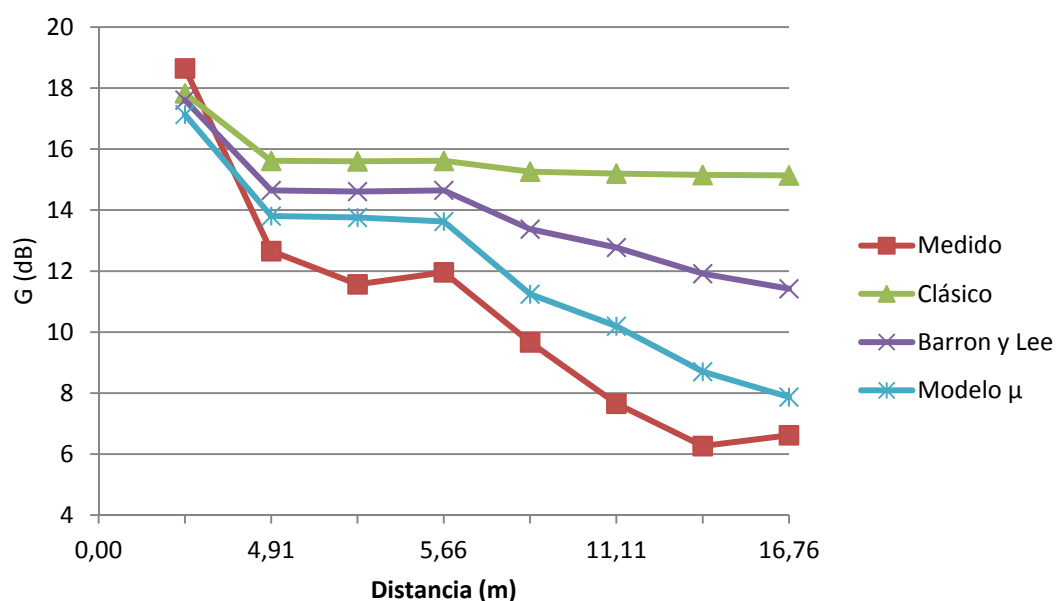


Figura 154. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F1

Como se puede observar, al contrario que para la claridad, G, se mueve dentro de un rango de valores mayores a bajas frecuencias que a medias o altas.

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente. Sin embargo, los valores medidos, no muestran una pendiente uniforme, sobre todo a bajas frecuencias.

En todos los casos, el Modelo μ es el que más se aproxima a los valores experimentales, sobre todo a medias frecuencias. No obstante, se encuentran diferencias de hasta casi 3 dB, para esa banda de frecuencias.

Fuente 2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,36	14,75	16,23	15,48	14,85
M4	9,22	11,70	15,78	14,02	12,89
M5	6,19	7,36	16,23	15,48	14,71
M3	7,94	6,28	15,83	14,33	12,72
M6	10,87	2,60	15,74	13,65	11,56
M7	13,75	2,71	15,71	13,03	10,50
M8	15,33	0,99	15,70	12,70	9,95

Tabla 112. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F2

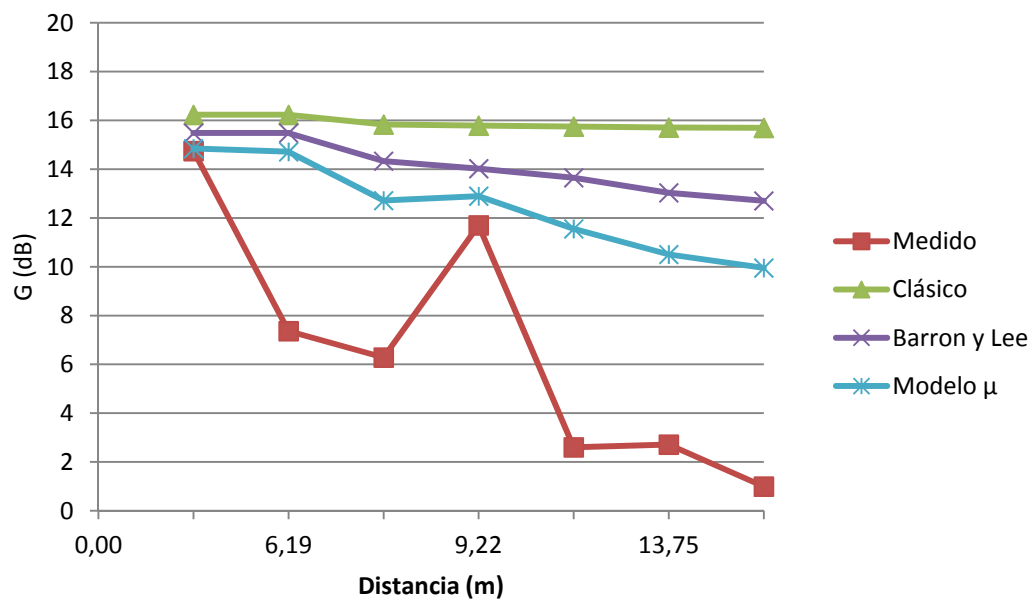


Figura 155. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	
M2	4,36	17,20	16,18	15,43	14,78
M4	9,22	11,78	15,73	13,96	12,81
M5	6,19	11,12	16,18	15,43	14,65
M3	7,94	7,93	15,78	14,27	12,62
M6	10,87	4,81	15,70	13,58	11,45
M7	13,75	4,75	15,66	12,95	10,38
M8	15,33	3,37	15,65	12,62	9,82

Tabla 113. Valores calculados a Medias Frecuencias para F2

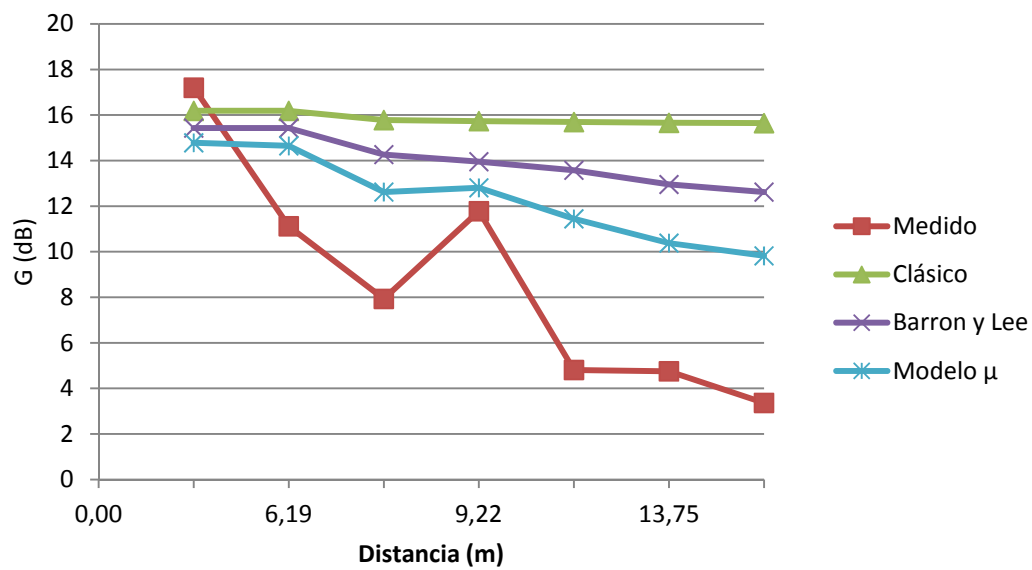


Figura 156. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F2

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Altas Frecuencias para F2			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	-	-	-	-	-
M2	4,36	15,26	15,75	14,91	14,14
M4	9,22	10,18	15,25	13,26	11,89
M5	6,19	8,90	15,75	14,91	13,98
M3	7,94	5,79	15,30	13,61	11,65
M6	10,87	3,49	15,20	12,83	10,30
M7	13,75	2,04	15,16	12,13	9,07
M8	15,33	1,06	15,15	11,76	8,43

Tabla 114. Valores calculados a Altas Frecuencias para F2

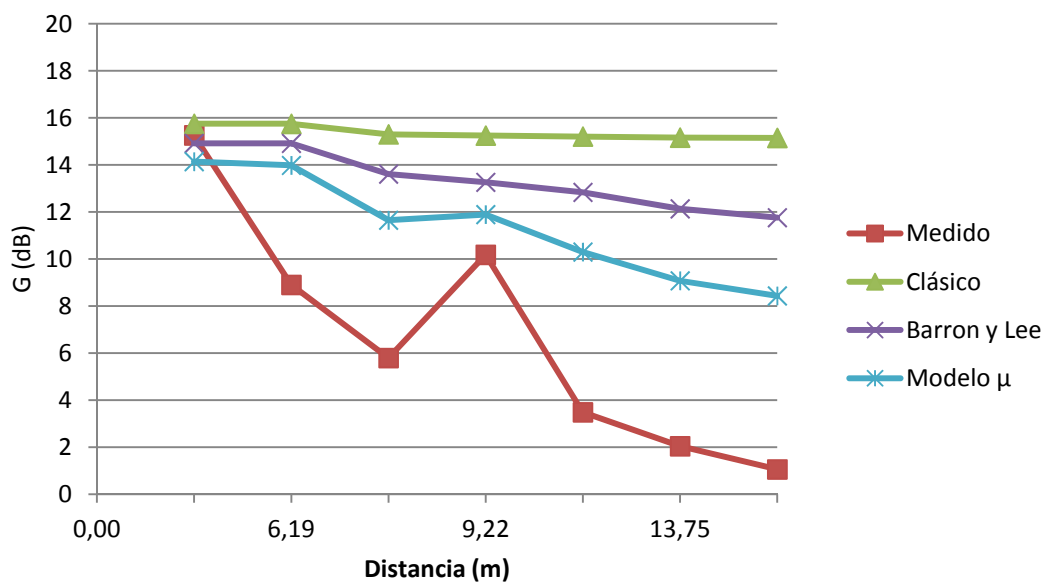


Figura 157. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F2

Los valores obtenidos a partir de las 3 teorías, siguen una tendencia decreciente con la distancia a la fuente, al igual que ocurría para la Fuente 1. Sin embargo, los valores medidos, al igual que ocurría para la Fuente 1, no muestran una pendiente muy uniforme.

Además, como se puede observar, el comportamiento de los valores teóricos, no se asemeja al de los valores medidos.

El Modelo μ es el que más se aproxima a los valores experimentales, aunque sus valores se encuentran muy alejados de los experimentales, llegando a 7 dB de diferencia en algunos puntos.

Fuente 3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Bajas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	14,69	2,15	15,70	12,84	11,16
M2	13,82	8,45	15,71	13,02	11,42
M3	14,49	0,64	15,70	12,88	11,22
M4	10,00	10,94	15,70	12,84	10,78
M5	6,98	12,01	15,88	14,58	13,13
M6	4,69	13,90	16,15	15,34	14,28
M7	1,04	19,94	21,09	21,03	20,66
M8	1,75	17,77	18,40	18,22	17,69

Tabla 115. Valores calculados a Bajas Frecuencias para F3

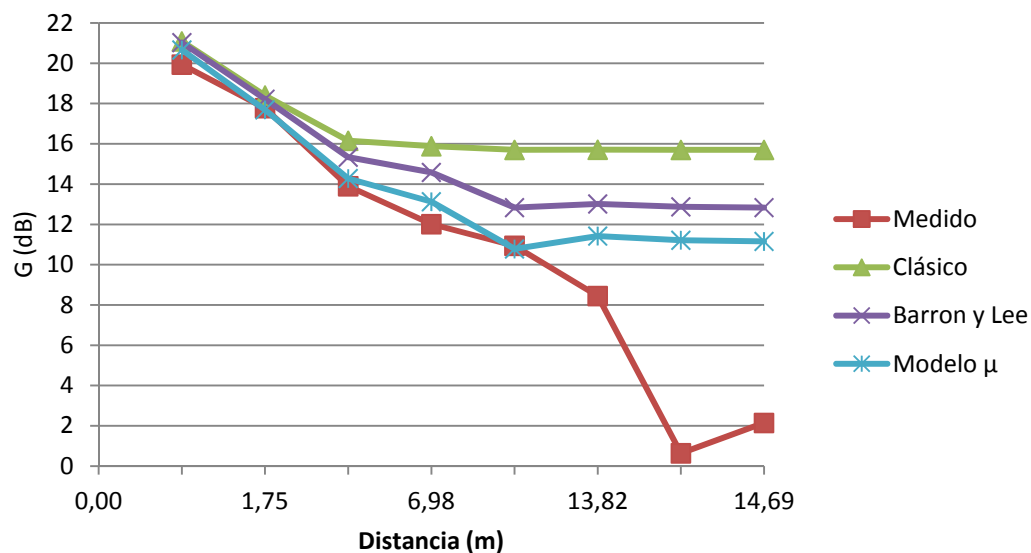


Figura 158. Comparativa de G a Bajas Frecuencias para F3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Medias Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	14,69	4,17	15,65	12,75	11,05
M2	13,82	8,77	15,66	12,94	11,31
M3	14,49	3,40	15,65	12,80	11,11
M4	10,00	12,29	15,65	12,75	10,66
M5	6,98	13,68	15,83	14,52	13,04
M6	4,69	16,29	16,11	15,28	14,21
M7	1,04	21,27	21,07	21,01	20,64
M8	1,75	19,27	18,37	18,19	17,65

Tabla 116. Valores calculados a Medias Frecuencias para F3

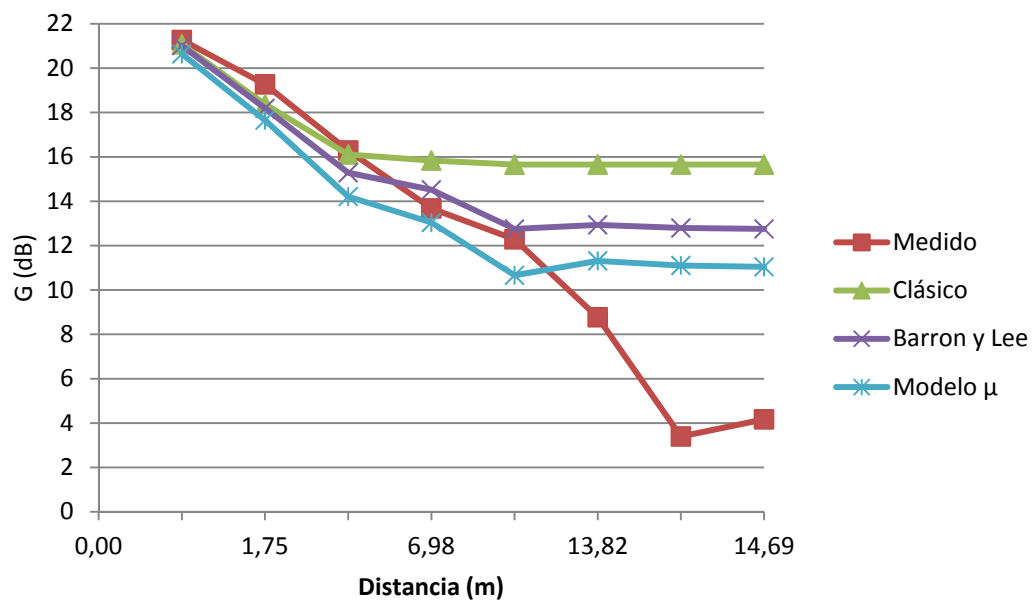


Figura 159. Comparativa de G a Medias Frecuencias para F3

Posición de Micrófonos (M)	Distancia a Fuente 2 (m)	G (dB) a Altas Frecuencias para F3			
		Medido in Situ	Modelo Clásico	Modelo Barron y Lee	Modelo μ
M1	14,69	1,15	15,15	11,91	9,87
M2	13,82	7,36	15,16	12,11	10,18
M3	14,49	0,82	15,15	11,95	9,94
M4	10,00	11,38	15,15	11,91	9,42
M5	6,98	12,88	15,36	13,90	12,13
M6	4,69	14,60	15,66	14,75	13,47
M7	1,04	20,05	20,94	20,88	20,44
M8	1,75	18,09	18,12	17,92	17,28

Tabla 117. Valores calculados a Altas Frecuencias para F3

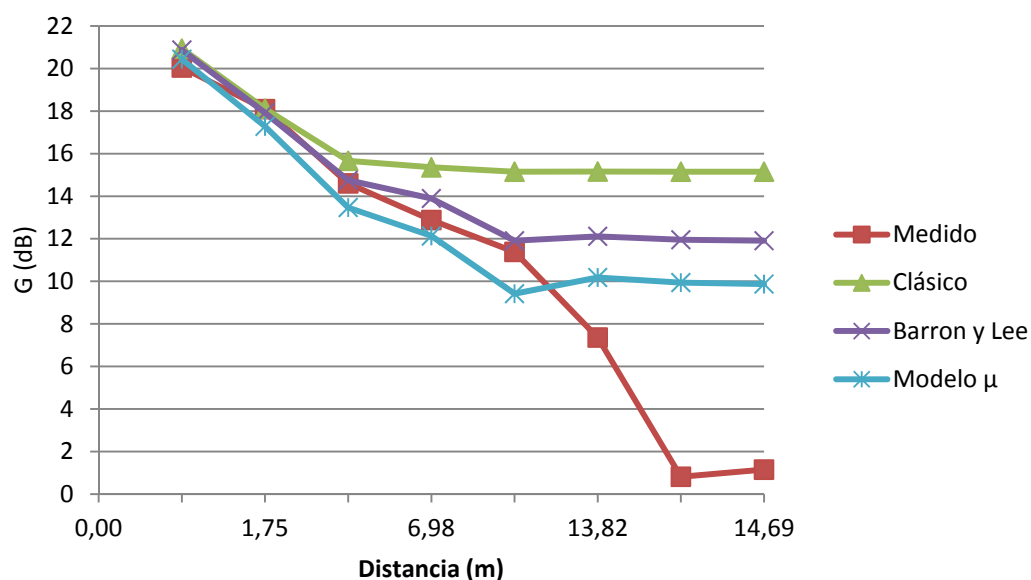


Figura 160. Comparativa de G a Altas Frecuencias para F3

La tendencia de las 3 teorías, se mantiene decreciente con la distancia a la fuente, hasta una cierta distancia a partir de la cual, casi se mantiene constante.

Igualmente, se observa que los modelos teóricos, no se asemejan a la forma de la curva para los valores medidos.

El Modelo μ es el que más se aproxima a los valores experimentales, como en los casos anteriores, aunque las diferencias siguen siendo muy elevadas.

A continuación, en las siguientes figuras se muestra el plano de planta de la iglesia, con los valores diferenciales para cada una de las teorías en relación a los medidos, clasificados en rangos de valores, que se representan mediante el siguiente código de colores:

- En el caso de C80, los puntos de medida se representarán según la siguiente codificación de colores, según el rango en el que se encuentre la diferencia del valor calculado con respecto al valor medido:
 - Por debajo de 2dB, se representa en verde
 - Entre 2dB y 4dB, se representa en naranja
 - Por encima de los 4dB, se representa en rojo

Sólo se muestran los planos para medias frecuencias, por considerarse la banda de frecuencias más significativa y para la posición de Fuente 1, ya que para una misma fuente el comportamiento de los modelos es el mismo, sin embargo esta posición de fuente es la más relevante porque es donde se sitúa el orador habitualmente.

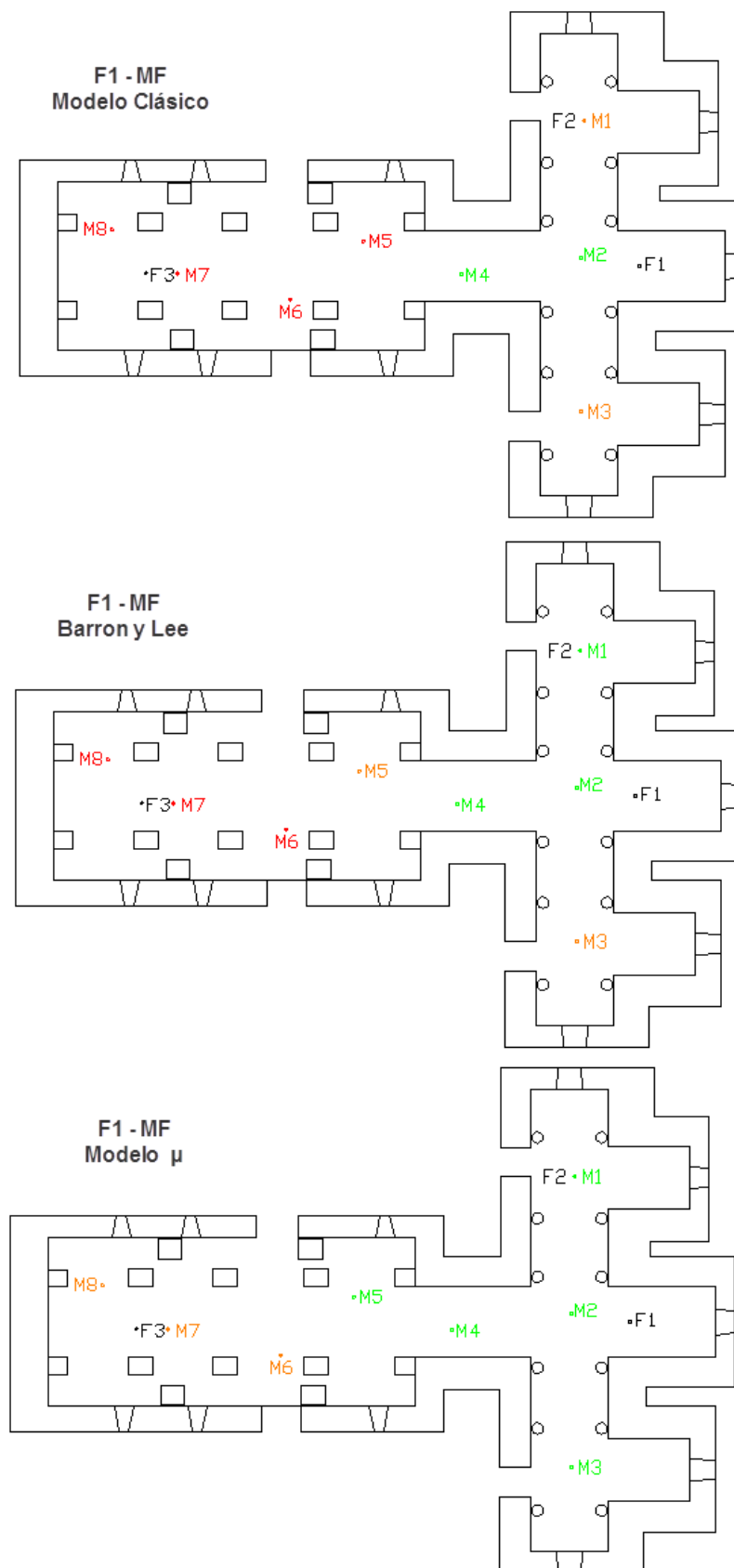


Figura 161. Diferencia para G a Medias Frecuencias y para F1

5.1.5.2.1. Conclusiones para G

A la vista de los resultados se llega a las siguientes conclusiones:

Para bajas frecuencias, el rango de valores en el que se mueven los resultados tanto medidos como calculados, es mayor, que para medias y estos a su vez están por encima del rango a altas frecuencias.

Para todas las bandas de frecuencias, los valores decrecen con la distancia, si bien, lo hacen con una pendiente mucho menos pronunciada que los valores medidos.

Al igual que para la claridad, para la sonoridad, se observa que es el Modelo μ el que más se asemeja a los valores medidos sin situ. Siendo, en la banda en la que mejor se comportan las 3 teorías la de medias frecuencias.

No obstante, a pesar de las similitudes que guarda el Modelo μ , existen puntos en los que la diferencia está por encima de los 4 dB, lo que supone una diferencia muy elevada para establecerlo como modelo de propagación del espacio que nos ocupa.

6 Conclusiones

En vista de los resultados obtenidos a partir de los modelos teóricos para C80 y G y mediante la comparación de los mismos con los valores medidos in situ, se observan los siguientes puntos:

- Para los tres modelos teóricos los valores siguen una tendencia decreciente con la distancia fuente-receptor.
- En el caso de los Modelos de Barron y Lee y μ , los valores obtenidos para ambas, resultan muy próximos en la mayoría de los casos.
- En la mayoría de iglesias estudiadas, los valores calculados para C₈₀, mediante el Modelo μ , son los que más se aproximan a los valores obtenidos in situ, no obstante, la diferencia es considerable como para poder establecer este modelo como modelo de propagación del sonido en este tipo de iglesias.
- Por otro lado, para el caso de G, los valores obtenidos siguiendo el Modelo Clásico, han resultado ser los más cercanos a los medidos. Aún así, existen, para algunos puntos, diferencias muy elevadas, como para considerarlo modelo de propagación del sonido en este tipo de iglesias.

Por lo expuesto a lo largo de este trabajo, no se puede establecer ninguna de las 3 teorías estudiadas como modelo de propagación de las Iglesias Prerrománicas.

Bibliografía

- [1] <http://es.wikipedia.org>
- [2] <http://www.artehistoria.jcyl.es/v2/contextos/3738.htm>
- [3] <http://www.spanisharts.com/arquitectura/imagenes/prerromanico/sanjuandebanos.html>
- [4] UNE-EN ISO 3382:2001
- [5] U. Beraldi, E. Cirilo, and F. Martellotta “Predicting energy-Based Acoustic Parameters in churches: an attempt to generalize the μ -model”
- [6] Ettore Cirilo and Francesco Martellotta “Sound propagation and energy relations in churches”
- [7] Teófilo Zamarreño, Sara Girón, and Miguel Galindo “Acoustic energy relations in Mudéjar-Gothic churches”